

TEXTE

67/2022

**Abschlussbericht**

# Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Boden- monitoring-Verbunds für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz

**Teil A: Abschlussbericht zum bodenfachlichen Teil und  
Teil B: Konzept für den Start des Klimafolgen-  
Bodenmonitoring-Verbunds**

**von:**

Carolin Kaufmann-Boll, Maike Kern, Michael Kastler,  
Stefanie Niederschmidt, Wolfgang Kappler, Frank Müller  
(ahu GmbH, Aachen)

Johanna Oellers, Andreas Toschki (gaiac Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V., Aachen)

Markus Steffens (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau FiBL, Departement für Bodenwissenschaften, Frick, Schweiz)

Martin Wiesmeier (Technische Universität München, Lehrstuhl für Bodenkunde, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, Freising)

Jeannette Mathews (Umweltbundesamt)

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 67/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 71 204 0  
FB000806

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

von

Carolin Kaufmann-Boll, Maike Kern, Michael Kastler,  
Stefanie Niederschmidt, Wolfgang Kappler, Frank Müller  
(ahu GmbH, Aachen)

Johanna Oellers, Andreas Toschki (gaiac Forschungsinsti-  
tut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V., Aachen)

Markus Steffens (Forschungsinstitut für Biologischen  
Landbau FiBL, Departement für Bodenwissenschaften,  
Frick, Schweiz)

Martin Wiesmeier (Technische Universität München,  
Lehrstuhl für Bodenkunde, Bayerische Landesanstalt für  
Landwirtschaft LfL, Freising)

Jeannette Mathews (Umweltbundesamt)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Durchführung der Studie:

ahu GmbH  
Kirberichshofer Weg 6  
52066 Aachen

gaiac Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V.  
Kackertstraße 10  
52072 Aachen

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Departement für Bodenwissenschaften  
Ackerstraße 113  
5070 Frick  
Schweiz

Technische Universität München, Lehrstuhl für Bodenkunde  
Emil-Ramann-Straße 2  
85354 Freising

### Abschlussdatum des Berichts:

November 2021

### Redaktion und fachliche Betreuung des Projekts:

Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring  
Jeannette Mathews

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Vorwort

Das vorliegende Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland basiert auf den Ergebnissen zweier Forschungsvorhaben. Während sich ein im Jahr 2020 abgeschlossenes Vorhaben mit den Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion (UBA 2020) beschäftigt hat, fokussiert das aktuelle Projekt auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz.

Die Untersuchungen und Bewertungen lagen wie folgt in der Verantwortung der jeweiligen Autorinnen und Autoren:

Themenübergreifendes Konzept: Carolin Kaufmann-Boll, Maike Kern, Dr. Michael Kastler, Stefanie Niederschmidt, Wolfgang Kappler, Frank Müller (ahu GmbH), Jeannette Mathews (Umweltbundesamt).

Bodenbiologie: Johanna Oellers, Dr. Andreas Toschki (gaiac Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V.)

Organische Bodensubstanz: Dr. Michael Kastler (ahu GmbH), Dr. Markus Steffens (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, Schweiz), Dr. Martin Wiesmeier (Technische Universität München, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Bodenwasserhaushalt: Carolin Kaufmann-Boll, Stefanie Niederschmidt (ahu GmbH), Dr. Daniel Wurbs (Geoflux,), Dr. Michael Steininger (Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz)

Bodenerosion: Dr. Daniel Wurbs (Geoflux,), Dr. Michael Steininger (Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz)

Das Umweltbundesamt und die Autorinnen und Autoren danken den Mitgliedern der projektbegleitenden Arbeitsgruppe für die konstruktive Diskussion der Forschungsergebnisse:

Dr. Anneke Beylich, IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH

Dr. Eckard Cordsen, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein

Dr. Frank Glante, Umweltbundesamt

Dr. Heinrich Höper, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen

Dr. Anna Jacobs, Thünen-Institut

Dr. Marc Marx, Umweltbundesamt

Dr. Moritz Nabel, Bundesamt für Naturschutz

Dr. Nicole Wellbrock, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökosysteme

Eine Vielzahl von Institutionen aus Bund und Ländern hat ihr Interesse an einer Mitwirkung am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund bekundet und umfangreiche Informationen über die eigenen Bodenmessprogramme und Messstandorte zur Verfügung gestellt – im Rahmen dieses Vorhabens für die Themen Bodenbiologie und organische Substanz. Die Durchführung des Vorhabens wäre ohne die Beiträge der jeweiligen Bearbeiterinnen und Bearbeitern nicht möglich gewesen. Für die Bereitstellung von Programmbeschreibungen, von Stammdaten der gemeldeten Untersuchungsstandorte und Angaben zu den dort erfassten Messgrößen sowie für die Bereitschaft als Ansprechpartner/in zur Verfügung zu stehen, danken wir allen beteiligten Personen.

### **Kurzbeschreibung: Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds - Bodenbiologie und organische Bodensubstanz**

Der Schutz des Bodens ist im Bundes-Bodenschutzgesetz gesetzlich verankert. Im Sinne dieses Gesetzes sind Funktionen des Bodens zu schützen und wiederherzustellen, schädliche Bodenveränderungen abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Bodeneinwirkungen zu treffen. Im übertragenen Sinn gilt dies auch für die Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden und damit auf seine Funktionen im Naturhaushalt. Die Handlungsebenen im Klimaschutzplan 2050 und in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel erfordern bundesweite, qualitätsgesicherte und hochaufgelöste Bodeninformationen für Aussagen über die Betroffenheit der Böden und ihre Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf.

Vor diesem Hintergrund streben das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und das Umweltbundesamt die Einrichtung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland an. Durch eine Vernetzung und verstärkte Zusammenarbeit können die Aussagen zum Bodenzustand und zu seinen Veränderungen auf Bundesebene wesentlich verbessert und auf eine solide Datenbasis gestellt werden. In diesem und in einem Vorgängerprojekt wurden die Grundlagen für die Umsetzung dieses Verbunds erarbeitet. Der Verbund versteht sich dabei als ein Netzwerk der Daten erhebenden Stellen. Er baut auf den in Deutschland eingerichteten, langfristig untersuchten Messstandorten auf, deren Weiterbetrieb nach aktuellem Stand gesichert ist. Zugleich ist er für die Aufnahme neu eingerichteter Standorte offen. Messdaten sollen dabei in der Hand der Daten erhebenden Stellen bleiben. Im Fokus stehen die Themen Bodenbiologie, organische Substanz, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion.

Die Betreiber aller bundesweit betriebenen, bodenbezogenen Messprogramme und -aktivitäten haben Interesse bekundet, ihre Standorte und deren Messergebnisse für Zwecke der Klimafolgenbetrachtung zur Verfügung zu stellen und sich in einem Verbund zusammenzuschließen. Rund 9.000 Messstandorte aus 16 Programmen wurden bisher für die Teilnahme am Messnetzverbund gemeldet. Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgte erstmals eine übergreifende Prüfung und Bewertung dieser Mess- und Erhebungsaktivitäten auf ihre Eignung für die Zwecke des Klimafolgen-Bodenmonitorings. Grundlage der Bewertung bildeten Angaben der Daten erhebenden Stellen zu den standortbezogenen Messmethoden und -konzepten.

Das Startkonzept für die Vorbereitungs- und die erste Betriebsphase umfasst zum einen fachliche Anforderungen an die Verbundstandorte für die vier oben genannten Themen in Form von definierten Qualitätskriterien (Mindestparametersätzen), Ziel- und Begleitgrößen sowie methodische Ansätze für Datenauswertungen. Darüber hinaus liegen Empfehlungen für die zur Umsetzung erforderlichen Organisationsstrukturen und Werkzeuge vor. Weiterhin werden Anpassungs- und Ergänzungsmaßnahmen vorgeschlagen, um Defizite hinsichtlich des Messumfangs und der Vergleichbarkeit der Mess- und Erhebungsaktivitäten zu reduzieren.

**Abstract: Conceptual design and implementation of a soil monitoring network to determine effects of climate change – soil biology and soil organic matter**

The protection of soil is enshrined in law in the Federal Soil Protection Act. According to this law, soil functions must be protected and restored, harmful soil changes must be prevented, and precautions must be taken against adverse soil impacts. In a figurative sense, this also applies to the effects of climate change on soil and thus on its functions in nature. The levels of action in the Climate Protection Plan 2050 and in the German Strategy for Adaptation to Climate Change require nationwide, quality-assured and high-resolution soil information for statements on the impact of soils and their role in the global carbon cycle.

Against this background, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the German Environment Agency are striving to establish a soil monitoring network in Germany. Through networking and intensified cooperation, the statements on soil condition and its changes at the federal level can be significantly improved and placed on a solid data basis. In this and a previous project, the foundations for the implementation of this network were developed. The network sees itself as a network of data collection agencies. It builds on the long-term monitoring sites established in Germany, whose continued operation is assured according to the current status. At the same time, it is open to the inclusion of newly established sites. Measurement data should remain in the hands of the data collection agencies. The focus is on soil biology, organic matter, soil water balance and soil erosion.

The operators of all nationwide soil-related measuring programmes and activities have expressed interest in making their sites and their measurement results available for the purpose of climate impact assessment and joining forces in a network. Around 9,000 measurement sites from 16 programmes have so far been registered for participation in the monitoring network. Within the framework of the project, a comprehensive examination and evaluation of these measurement and survey activities was carried out for the first time with regard to their suitability for the purposes of climate impact soil monitoring. The evaluation was based on information provided by the data collection agencies on the site-specific measurement methods and concepts.

The start-up concept for the preparatory and the first operational phase includes, on the one hand, technical requirements for the network sites for the four topics mentioned in the form of defined quality criteria (minimum parameter sets), target and accompanying parameters, and methodological approaches for data evaluation. In addition, recommendations are made for the organizational structures and tools required for implementation. Furthermore, adaptation and supplementary measures are proposed to reduce deficits regarding the scope of measurement and the comparability of measurement and survey activities.

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>10</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>11</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>15</b>
<b>Summary</b> .....	<b>19</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>23</b>
<b>2 Ziel und Aufgaben des Vorhabens</b> .....	<b>26</b>
<b>3 Vorgehensweise</b> .....	<b>28</b>
<b>4 Teil A: Bodenfachlicher Teil</b> .....	<b>30</b>
4.1 Methoden .....	30
4.2 Ergebnisse der Messnetzuntersuchung.....	36
4.3 Standortmeldungen .....	40
4.4 Erweiterung des Konzepts für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund.....	43
4.4.1 Grundsätzlich geeignete Messprogramme für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz.....	43
4.4.2 Betroffenheit von Klimaänderungen .....	45
4.4.3 Verbund-Thema Bodenbiologie.....	47
4.4.4 Verbund-Thema organische Bodensubstanz .....	61
4.5 Verbund-Thema Bodenwasserhaushalt.....	82
4.6 Verbund-Thema Bodenerosion.....	83
4.7 Entwurf des Indikators Temperatur im Oberboden .....	83
<b>5 Teil B: Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland ...</b>	<b>85</b>
5.1 Ziele und Aufgaben des Verbunds .....	85
5.2 Bereitschaft zur Teilnahme am Verbund .....	89
5.3 Fragestellungen des Verbunds.....	90
5.4 Grundprinzipien .....	91
5.5 Qualitätskriterien für Verbundstandorte.....	92
5.6 Organisationsstruktur des Verbunds .....	99
5.6.1 Beteiligte und Gremien.....	99
5.6.2 Fachliche, technische und organisatorische Werkzeuge.....	103
5.7 Empfehlungen zur Umsetzung des Verbunds.....	106
5.7.1 Organisatorische Maßnahmen .....	106
5.7.2 Fachliche Aufgaben.....	107
5.7.3 Entwurf eines Ablaufplans für den Start des Verbunds.....	112

5.8	Perspektiven für die DAS-Berichterstattung.....	114
5.8.1	Indikator „Temperatur im Oberboden“.....	117
5.8.2	(Weiter-)Entwicklung von Indikatoren für die vier Verbundthemen .....	117
5.8.3	Aufgaben und erwartete Ergebnisse .....	121
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>124</b>
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Anhang: Fragebogen zur Abfrage von Informationen über Standorte des Klimafolgen- Bodenmonitoring-Verbunds .....</b>	<b>137</b>
<b>B</b>	<b>Anhang: Bodenbiologie: Eignungsbewertung der Boden-Dauerbeobachtung .....</b>	<b>145</b>
<b>C</b>	<b>Anhang: Organische Bodensubstanz: Boden-Dauerbeobachtung .....</b>	<b>149</b>
<b>D</b>	<b>Anhang: Organische Bodensubstanz: Dauerfeldversuche .....</b>	<b>152</b>
<b>E</b>	<b>Anhang: Gestaltung des Verzeichnisses der Verbundstandorte.....</b>	<b>154</b>
<b>F</b>	<b>Anhang: Ergänzende Messnetzbeschreibungen für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz .....</b>	<b>155</b>
F.1	Steckbrief Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE LW).....	156
F.2	Steckbrief Bodenzustandserhebung Wald.....	165
F.3	Steckbrief Exploratorien zu funktioneller Biodiversitätsforschung .....	172
F.4	Steckbrief Land Use and Cover Area Frame Survey (LUCAS Soil) .....	178
F.5	Steckbrief Humusmonitoring Nordrhein-Westfalen.....	185
F.6	Steckbrief Biologisches Messnetz/Medienübergreifende Umweltbeobachtung LUBW ....	193
F.7	Steckbrief Humusmonitoring Bayern.....	197
F.8	Steckbrief Nationales Biodiversitäts-Monitoring in Agrarlandschaften .....	202
F.9	Steckbrief Bundesweites Moorbodenmonitoring unter Wald .....	205
F.10	Ergänzung zum Steckbrief Bodendauerbeobachtung (BDF).....	208
F.11	Ergänzung zum Steckbrief Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (BonaRes) .....	220
F.12	Kurzbeschreibung Edaphobase.....	250
F.13	Kurzbeschreibung Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen .....	252

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einschätzung der grundsätzlichen Eignung vorhandener Messnetze für die Erfassung und Modellierung von klimabedingten Änderungen des Bodenzustands.....	44
Abbildung 2:	Auszug der Klimawirkungen für Cluster „Land“ im Aktionsplan Anpassung III .....	45
Abbildung 3:	Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie.....	53
Abbildung 4:	Haupteinflussgrößen auf die Variabilität der Vorräte an organischem Kohlenstoff in Abhängigkeit von der Bodentiefe .....	62
Abbildung 5:	Verbundstandorte für das Thema organische Bodensubstanz .....	69
Abbildung 6:	Abbildungsvorschlag für den Indikator Temperatur im Oberboden.....	84
Abbildung 7:	Integration verschiedener Messebenen .....	87
Abbildung 8:	Gemeldete Standorte für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund .....	90
Abbildung 9:	Verbundstandorte aus bestehenden bodenbezogenen Messaktivitäten nach Nutzung und Erfüllung von Qualitätsanforderungen .....	96
Abbildung 10:	Entwurf der Organisationsstruktur des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds .....	99
Abbildung 11:	Struktur, Kommunikationswege und Aufgaben der Beteiligten im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund .....	103
Abbildung 12:	Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für Bodenbiologie .....	118
Abbildung 13:	Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für organische Substanz.....	119
Abbildung 14:	Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für Bodenwasserhaushalt .....	120
Abbildung 15:	Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für Bodenerosion .....	121
Abbildung 16:	Aufgaben zur Weiterentwicklung der DAS-Berichterstattung mit Hilfe des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds .....	121
Abbildung 17:	Stichprobenpunkte der BZE LW.....	158
Abbildung 18:	Repräsentative Standorte der BZE-LW für zusätzliche Messungen in mineralischen Böden .....	159
Abbildung 19:	Lage der Stichprobenpunkte der BZE Wald I (links) und BZE Wald II (rechts) (Stand 2012) .....	167
Abbildung 20:	Aufnahmen an einem Inventurpunkt der BZE.....	169
Abbildung 21:	Untersuchungsgebiete der Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung.....	174
Figure 22:	LUCAS Soil sampling points in 2009 (a), 2015 (b) and 2018 (c).....	179
Figure 23:	Sampling parameters of LUCAS Soil .....	181
Figure 24:	LUCAS Soil workflow from sampling to database generation.....	182
Abbildung 25:	Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW.....	186
Abbildung 26:	Probenahmekonzept des Humusmonitoring NRW .....	190
Abbildung 27:	Untersuchungsstandorte Humusmonitoring Bayern .....	198
Abbildung 28:	Bodenartengruppen der Untersuchungsstandorte.....	199
Abbildung 29:	Probenahmekonzept Humusmonitoring Bayern.....	200
Abbildung 30:	Karte der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen .....	253

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auszug aus dem Tabellenblatt zur Abfrage von Stammdaten .....	33
Tabelle 2:	Auszug aus dem Tabellenblatt zur Abfrage von Angaben zu Messgrößen .....	34
Tabelle 3:	Übersicht der aktualisierten und neu beschriebenen Messaktivitäten .....	37
Tabelle 4:	Einflussfaktoren und relevante Größen für das Thema Bodenbiologie .....	48
Tabelle 5:	Qualitätskriterien des Verbunds für das Thema Bodenbiologie .....	51
Tabelle 6:	Einflussfaktoren und relevante Größen für Kohlenstoff .....	63
Tabelle 7:	Qualitätskriterien des Verbunds für das Thema organische Bodensubstanz .....	67
Tabelle 8:	Im Projekt definierte Zielgrößen des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds .....	94
Tabelle 9:	Programme mit geeigneten Verbundstandorten für die fortlaufende Messung von Zielgrößen .....	97
Tabelle 10:	Arbeitsschritte für die Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds .....	113
Tabelle 11:	Ideen für die Weiterentwicklung der Berichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel .....	116
Tabelle 12:	Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds .....	139
Tabelle 13:	Bodenphysikalische und bodenchemische Basis-Parameter .....	141
Tabelle 14:	Bewirtschaftungs- und Klima-Parameter .....	142
Tabelle 15:	Übersicht des Fragebogens .....	144
Tabelle 16:	Anzahl der Stichprobenpunkte je Bundesland .....	160
Tabelle 17:	Bodenchemische Parameter der BZE Wald II .....	168
Tabelle 18:	Bodenphysikalische Parameter der BZE Wald II .....	168
Tabelle 19:	Anzahl der Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW .....	187
Tabelle 20:	Anzahl der Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW nach Bodenart .....	187
Tabelle 21:	Bodenphysikalische Parameter der Bodendauerbeobachtung .....	209
Tabelle 22:	Bodenchemische Parameter (anorganisch) der Bodendauerbeobachtung .....	211
Tabelle 23:	Bodenchemische Parameter (organisch) der Bodendauerbeobachtung .....	214
Tabelle 24:	Bodenbiologische Parameter* der Bodendauerbeobachtung .....	216
Tabelle 25:	Untersuchungsparameter Bodenwasser der Bodendauerbeobachtung .....	218
Tabelle 26:	Untersuchungsparameter Stoffeintrag durch Bewirtschaftung der Bodendauerbeobachtung .....	219
Tabelle 27:	Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Kohlenstoffspeicherung und Habitats für Bodenleben .....	221
Tabelle 28:	Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Kohlenstoffspeicherung .....	224
Tabelle 29:	Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Habitats für Bodenleben .....	229
Tabelle 30:	Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Biomasseproduktion (Begleitgröße) .....	230

## Abkürzungsverzeichnis

APA	Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel
Basis-BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen zur Merkmalsdokumentation
BDa-E-Feld	agarmeteorologisches Ertragsmessfeld in Berlin-Dahlem
BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen
BExIS	Biodiversity Exploratories Information System
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BOKLIM	Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung (Name eines Forschungsvorhabens FKZ: 3708 71 205 01, Laufzeit: 2009-2010)
BonaRes	BMBF-Förderinitiative Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie
BOVA	Ständiger Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“ der LABO (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz)
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BW	Baden-Württemberg
BW-FORS	Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bruchsal/Forst
BZE LW	Bodenzustandserhebung Landwirtschaft
BZE Wald	Bodenzustandserhebung Wald (I und II)
C	Kohlenstoff
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFV	Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)
DWD	Deutscher Wetterdienst
eBIS	Datenbankanwendung des Umweltbundesamtes
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
ESDAC	European Soil Data Centre
EU	Europäische Union
F+E	Forschung und Entwicklung
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
FG	Fachbereich
FKZ	Förderkennzeichen
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
HFA	Handbuch Forstliche Analytik
HU-Berlin	Humboldt-Universität zu Berlin

ICOS-D	Integrated Carbon Observation System - Deutschland
ICP	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
Intensiv-BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen zur Prozessdokumentation
JRC	Joint Research Centre
KA	Bodenkundliche Kartieranleitung
KomPass	Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung
KWRA	Klimawirkungs- und Risikoanalyse
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen
LfL Bayern	Bayerisches Landesamt für Landwirtschaft
LFoA	Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Anstalt öffentlichen Rechts
LfU Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg
LUCAS	Land Use and Coverage Area frame Survey
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (Dienstleistungslabor der Landwirtschaftskammer Niedersachsen)
LWF	Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
MoMoK	Moorbodenmonitoring für den Klimaschutz
MUB	Medienübergreifende Umweltbeobachtung
MUF	Methylumbelliferon
n	Anzahl
N	Stickstoff
NFDI	Nationale Forschungsdateninfrastruktur
NHN	Normalhöhennull
NI	Niedersachsen
NMZB	Nationales Monitoringzentrum zur Biodiversität
NRW	Nordrhein-Westfalen
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
P	Phosphor
PLFA	Phospholipidfettsäuren
PostgreSQL	Datenbankmanagementsystem
RLP	Rheinland-Pfalz
RothC	Rothamsted carbon model

RP-MERZ	Boden-Dauerbeobachtungsfläche Merzalben / Level II-Plot 705
SGN	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung
SH	Schleswig-Holstein
SH-BORN	Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bornhöved / Level II Plot 101
SOC	organischer Gesamtkohlenstoff im Boden
SoilCan	TERENO Lysimeter Netzwerk in Deutschland
TC	Gesamtkohlenstoff
TERENO	Terrestrial Environmental Observatories
TH	Technische Hochschule
THG	Treibhausgase
TI	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
TI-AK	Thünen-Institut Agrarklimaschutz
TI-WO	Thünen-Institut Waldökosysteme
TIC	Carbonatgehalt
TLLLR	Thüringisches Landesamt für Landwirtschaft und ländliche Räume
TLUG	Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz
TN	Gesamtstickstoff
TU	Technische Universität
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
UMK	Umweltministerkonferenz
UPB	Umweltprobenbank
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.

## Zusammenfassung

Für das Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden werden Daten benötigt, die über einen langen Zeitraum die Veränderungen des Bodenzustands, der Bodenqualität, der Bodenlebewesen und der Bodenfunktionen dokumentieren. In Deutschland werden von vielen Einrichtungen in Verwaltung und Forschung dauerhaft bodenbezogene Messungen durchgeführt. Diese Messungen sind in verschiedene Überwachungs- oder Forschungsprogramme integriert und unterscheiden sich in ihren Methoden zum Teil länderspezifisch oder sogar standortsspezifisch. Nur wenn eine Vergleichbarkeit von Methoden, Erhebungshäufigkeit und -zeitraum für relevante Messgrößen gegeben ist, sind Aussagen über Veränderungen der Böden für Deutschland möglich.

Vor diesem Hintergrund haben das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und das Umweltbundesamt im Jahr 2017 und 2019 zwei Forschungsvorhaben zur „Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds“ initiiert. Im Fokus steht die Beantwortung der Frage, in welchem Maß sich in Deutschland unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung die Bodenlebensgemeinschaft (Bodenbiologie), die organische Bodensubstanz, bodenhydrologische Kenngrößen (Bodenwasserhaushalt) sowie das Ausmaß von Bodenerosion durch Wasser und Wind verändern. Bei diesen Themen sind klimawandelbedingte Veränderungen des Bodenzustands am ehesten zu erwarten bzw. werden diskutiert.

Folgende Arbeitsschritte wurden im Vorhaben umgesetzt:

- a) Untersuchung der langfristig betriebenen Monitoring- und Erhebungsprogramme für Böden in Deutschland
- b) Überprüfung der Bereitschaft zur Teilnahme am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund
- c) Überprüfung der bisherigen Bewertung der fachlichen Eignung von Messnetzen
- d) Konkretisierung und Fortschreibung des Konzeptentwurfs für die Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz
- e) Fachgespräch zur Diskussion und Anpassung der Bewertung und des Verbundkonzepts unter Berücksichtigung der fachlichen und praktischen Anforderungen von weiteren Vertretern aus Bund, Ländern und Forschung
- f) Entwicklung eines neuen Bodenindikators „Temperatur im Oberboden“ für den Monitoringbericht der Bundesregierung zur DAS 2023

Eine vom UBA einberufene Arbeitsgruppe bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern verschiedener Länderbehörden und Forschungseinrichtungen hat das Forschungsvorhaben fachlich beratend unterstützt. Innerhalb der Arbeitsgruppe wurden Zwischenergebnisse diskutiert und das weitere Vorgehen abgestimmt.

Zum Abschluss der Projektarbeiten liegen folgende Ergebnisse vor bzw. wurden folgende Fortschritte erreicht:

- Die in Deutschland langfristig in Bund und Ländern sowie von Seiten der Forschung betriebenen Beobachtungs- und Erhebungsprogramme für Böden wurden erstmals programmübergreifend und mit dem Fokus auf vier verschiedene bodenfachliche Kernthemen hinsichtlich ihrer Eignung für Zwecke des Klimafolgen-Bodenmonitorings bewertet.

- ▶ Die Messmethodik, -dauer und -häufigkeit an allen einzelnen für den Verbund gemeldeten Standorten wurde bei den Daten erhebenden Stellen angefragt und in einer Projektdatenbank dokumentiert. Zur Bewertung dient ein Kriterienkatalog für die teilnehmenden Verbundstandorte, der je nach Thema Ziel- und Begleitgrößen festlegt und Anforderungen an die Datendokumentation und an Kernstandorte mit besonderer Eignung formuliert.
- ▶ Für die Verbundthemen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz sind – gegenüber dem bisherigen Forschungsstand zum Klimafolgen-Bodenmonitoring – weitere Messprogramme in die Untersuchungen einbezogen worden. Dies sind: BZE Landwirtschaft, Exploratorien zu funktioneller Biodiversitätsforschung, LUCAS Soil, Humus- und Biologische Monitoringprogramme der Länder, Nationales Biodiversitätsmonitoring in Agrarlandschaften, Moorbodenmonitoring, Edaphobase sowie Ökosystemmonitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen.
- ▶ Mit Stand 2020 liegen nach Abschluss der Standortanfragen Meldungen von rund 9.000 Messstandorten aus 16 Programmen bzw. Aktivitäten für die Teilnahme am Messnetzverbund vor. Das Interesse für die Teilnahme am Verbund ist bei allen Institutionen vorhanden, deren Messbetrieb langfristig gesichert ist. Dazu gehören alle in Deutschland betriebenen behördlichen bodenbezogenen Messprogramme und -aktivitäten sowie alle überregional organisierten bodenbezogenen, forschungsgetriebenen Messaktivitäten. Damit erfährt die Idee des Messnetzverbunds eine sehr breite Unterstützung.
- ▶ Das übergreifende Gesamtkonzept für den Aufbau und die Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds formuliert die Ziele und Aufgaben des Verbunds, nennt Grundprinzipien für den Betrieb und Qualitätskriterien für Verbundstandorte. Eine Organisationsstruktur des Verbunds mit Benennung der beteiligten Akteure und Gremien und deren Aufgaben wird vorgeschlagen. Dazu gehören ein Verbundbetreiber, eine Steuerungsgruppe, die Verbundmitglieder und die Datennutzer. Für den Verbundbetrieb erforderlich sind fachliche, technische und organisatorische Werkzeuge wie ein Verbund-Manual (Handbuch der Verbundstandards), ein Verzeichnis der Verbundstandorte mit Stammdaten und Angaben zu Messgrößen (Metadaten), Datenaustauschformate, Kooperations- und Nutzungsvereinbarungen sowie Öffentlichkeitsarbeit. Lage und Stammdaten der Verbundstandorte können künftig in einer Kartenanwendung im Internet veröffentlicht werden.
- ▶ Die Empfehlungen für die Umsetzung des Verbunds umfassen organisatorische Maßnahmen und Fachaufgaben, die als notwendig oder wünschenswert angesehen werden. Die themenspezifischen Empfehlungen für Bodenbiologie, organische Bodensubstanz, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion wurden in das Konzept eingearbeitet und es wurden nach Möglichkeit Aussagen zu anfallenden Kosten gemacht, damit die einzelnen Akteure einschätzen können, was an zusätzlichen finanziellen und personellen Belastungen auf sie zukommt. Die vorgeschlagenen Maßnahmen beziehen sich z. B. auf Aspekte der Datenverfügbarkeit sowie auf Lücken und Defizite der Messnetze im Hinblick auf Messintervall oder Flächenrepräsentativität. Behandelt wurden weiterhin Fragen nach Wegen zur Gewährleistung der Datenvergleichbarkeit im Hinblick auf die eingesetzten Probenentnahme- und Untersuchungsmethoden sowie der technischen Konzeptumsetzung und Herstellung einer Datenkompatibilität. Die empfohlenen Arbeitsschritte in der Vorbereitungsphase und einer ersten Betriebsphase werden in einen zeitlichen Ablauf gebracht.
- ▶ Im Vorgängerprojekt, dem BMU/UBA-Forschungsvorhaben „Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds“, das von 2017 bis 2019 durchgeführt wurde, waren die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion Gegenstand der

Untersuchungen (FKZ: 3716 48 203 0, Abschlussbericht siehe UBA 2020). Im nunmehr seit 2019 bearbeiteten Forschungsvorhaben zur „Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds“ (FKZ: 3719 71 204 0) werden Analysen und Bewertungen zu den Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz ergänzt. Beide Berichtsteile des nunmehr fortgeschriebenen Konzepts sowie die im Vorgängerprojekt getroffenen Aussagen zu fachlichen Grundlagen für die Ausgestaltung von Verbundstandards für Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion (UBA 2020) können in den Umsetzungsprozess des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds und die dafür erforderlichen Abstimmungen in Fachgremien eingebracht werden. Gemeinsam bilden beide Berichte, d. h. UBA (2020) sowie der vorliegende Bericht, die Ergebnisse der Arbeiten zur Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für vier Kernthemen ab.

- Der Verbund kann aus den in Deutschland eingerichteten, langfristig untersuchten Messstandorten aufgebaut werden, deren Weiterbetrieb nach aktuellem Stand gesichert ist und soll offen für die Aufnahme neu eingerichteter Langzeit-Überwachungsstandorte sein. Das Konzept sieht vor, dass die Messdaten dabei in der Hand der Daten erhebenden Stellen bleiben.

Für die weitere Arbeit lassen sich Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

Mit für den Verbund als geeignet ausgewiesenen Messstandorten wird eine - wenn auch nicht vollständige - Flächenabdeckung der Bundesrepublik für die Themen Bodenbiologie, organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt festgestellt. Für diese Themen kommen in den bundesweiten bodenbezogenen Messprogrammen verbreitet standardisierte Erhebungsmethoden auf der Basis genormter Verfahren (DIN/ISO) zur Anwendung. Die Standardisierung lässt dabei häufig Gestaltungsspielraum zu, z. B. um standörtliche Gegebenheiten berücksichtigen zu können oder auch weil ggf. nicht alle Arbeitsschritte und Aspekte der Datenerhebung einheitlich festgelegt werden können (z. B. Messtiefen, Zeitpunkt von Messungen im Jahr oder zu erhebende Begleitgrößen). Notwendig sind daher einerseits eine detaillierte Dokumentation der angewendeten Erhebungsmethoden und andererseits die Formulierung ergänzender Qualitätskriterien für die Datenerhebung.

Bundesweit abgestimmte Verfahren zur Ableitung von Indikatoren und Referenzwerten sowie zur Bewertung von Veränderungen fehlen bisher noch für alle Verbundthemen.

Für Bodenerosion fehlen Messaktivitäten und Schadensfallkartierungen in weiten Teilen des Bundesgebiets. Es liegen Kartieranleitungen zur Erfassung aktueller Erosionsformen vor, jedoch fehlen länderübergreifende Standards zur flächenhaften Erfassung von Schadensereignissen.

Die Beantwortung der Fragen nach dem Ausmaß von durch Klimawandel und Bewirtschaftung bedingten Veränderungen des Bodenzustands ist für drei Themen durch eine punktuelle und gezielte Anpassung und Weiterentwicklung bestehender bodenbezogener Messaktivitäten und die Entwicklung geeigneter Auswertungskonzepte erreichbar (Bodenbiologie, organische Bodensubstanz, Bodenwasserhaushalt).

Insbesondere für die Themen Bodenbiologie und Bodenerosion, aber auch für organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt, die heute auf wesentlich längere und umfangreichere Monitoringerfahrungen zurückgreifen können, sind darüberhinausgehende Aufgaben der methodischen Standardisierung von Datenerhebung und Methodendokumentation zu bewältigen.

Die für eine Teilnahme gemeldeten Messstandorte erfüllen zum aktuellen Zeitpunkt die für den Verbund formulierten Qualitätskriterien in unterschiedlichem Maße, so dass bestimmte Defizite reduziert werden müssen, um bundesweite und überregionale Aussagen treffen zu können. Die Defizite wurden in den Forschungsvorhaben herausgearbeitet und benannt.

Um den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund auf eine Berichterstattung, wie z. B. im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) auszurichten, ist ein Bezug zu Indikatoren herzustellen. Ergänzend zu den bereits im Handlungsfeld Boden der DAS geführten Indikatoren wurden im Projekt erste Ideen für weitere Auswertungen im Zuge der Berichterstattung für alle Verbundthemen skizziert, an die in Folgearbeiten angeknüpft werden kann.

Prinzipiell erscheint die Einordnung der Aktivitäten zur Initiierung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund in verwandte Aktivitäten z. B. jene des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität, des BonaRes-Programms, die Initiativen zum Aufbau einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) dringend notwendig, um die in der Praxis begrenzten Ressourcen für den Betrieb kostenintensiver Beobachtungs- und Erhebungsstandorte sowie für die notwendige methodische Weiterentwicklung effizient und ohne Doppelarbeit einzusetzen.

Die Umsetzung des Konzepts und der dauerhafte Betrieb eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds tragen zu einer vermehrten Nutzung und damit zu einer besseren Wertschöpfung des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebungen in Deutschland bei. Darüber hinaus werden die Beobachtung und Erforschung von Klimawandelfolgen durch flächendeckende Mess- und Erhebungsdaten erleichtert und langfristig verbessert.

## Summary

Understanding the impacts of climate change on soils requires data documenting changes in soil condition, soil quality, soil organisms and soil functions over a long period of time. In Germany, soil-related measurements are permanently carried out by many institutions in administration and research. These measurements are integrated into various monitoring or research programmes and their methods differ in part from region to region or even site to site. Only if there is comparability of methods, frequency and period of data collection for relevant measured variables, it is possible to draw conclusions about changes in soils for Germany.

Against this background, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the German Environment Agency have initiated two research projects in 2017 and 2019 on the "Conception and Implementation of a soil monitoring network to determine effects of climate change". The focus is on the question of the extent to which the soil biocoenosis (soil biology), soil organic matter, soil hydrological parameters (soil water balance) and the extent of soil erosion caused by water and wind will change in Germany under the conditions of climate change and management. These are the topics where climate change-related modifications in soil condition are most likely to occur or are being discussed.

The following work steps were implemented in the project:

- a) investigation of the long-term monitoring and survey programmes for soils in Germany:
- b) review of the willingness to participate in the soil monitoring network to determine effects of climate change
- c) review of the previous assessment of the suitability of monitoring networks
- d) concretisation and updating of the draft concept for the implementation of a soil monitoring network to determine effects of climate change for the topics soil biology and organic matter
- e) expert talk on the discussion and adaptation of the assessment and the network concept, taking into account the technical and practical requirements of further representatives from the federal government, the federal states and the research community
- f) development of a new soil indicator "temperature in the topsoil" for the monitoring report of the federal government on the DAS 2023

A working group convened by the UBA and consisting of representatives of various federal state authorities and research institutions provided technical advice and support for the research project. Within the working group, interim results were discussed, and the further procedure coordinated.

At the end of the project, the following results are available, and the following progress has been made:

- For the first time, the long-term observation and survey programmes for soils operated in Germany in the federal government and the federal states of Germany, as well as by the research community, were evaluated across programmes and with a focus on four different soil-related core topics regarding their suitability for the purposes of climate impact soil monitoring.

- ▶ The measurement methodology, duration and frequency at all individual sites reported for the network were re-requested from the data collection agencies and documented in a project database. A catalogue of criteria for the participating network sites is used for the evaluation, which defines target and accompanying parameters depending on the topic and formulates requirements for the data documentation and for core sites with special suitability.
- ▶ For the topics of soil biology and soil organic matter, additional measurement programmes have been included in the investigations - compared to the previous research status on climate impact soil monitoring. These are BZE Landwirtschaft, Exploratories on Functional Biodiversity Research, LUCAS Soil, Humus and Biological Monitoring Programmes, National Biodiversity Monitoring in Agricultural Landscapes, Moor Soil Monitoring, Edaphobase and Eco-system Monitoring on nationally representative sample areas.
- ▶ As of 2020, after completion of the site enquiries, there are reports of around 9,000 monitoring sites from 16 programmes or activities for participation in the monitoring network network. The interest to participate in the network is present at all institutions whose measurement operations are secured for the long term. This includes all official soil-related measurement programmes and activities operated in Germany as well as all supraregionally organised soil-related, researchdriven measurement activities. Thus, the idea of a monitoring network is widely supported.
- ▶ The overall concept for the establishment and implementation of a climate impact soil monitoring network formulates the objectives and tasks of the network, lists basic principles for operation and quality criteria for network sites. An organisational structure for the network is proposed, naming the actors and committees involved and their tasks. This includes a network operator, a steering group, the network members, and the data users. For the operation of the network, professional, technical, and organisational tools are required, such as a network manual (manual of standards), a directory of network sites with site data and information on measured variables (metadata), data exchange formats, cooperation and user agreements as well as public relations work. In future, the location and master data of the network sites can be published in a map application on the internet.
- ▶ The recommendations for the implementation of the network include organisational measures and specialist tasks that are considered necessary or desirable. The topic-specific recommendations for soil biology, soil organic matter, soil water balance and soil erosion have been incorporated into the concept and, where possible, statements have been made about the costs involved, so that the individual actors can estimate what additional financial and personnel burdens they will face. The recommended work steps in the preparatory phase and a first operational phase until 2024 are put into a chronological order.
- ▶ In the predecessor project, the BMU/UBA research project "Conceptual design and implementation of a soil monitoring network to determine effects of climate change", which was carried out from 2017 to 2019, the topics of soil water balance and soil erosion were the subject of the investigations (FKZ: 3716 48 203 0, final report see UBA 2020). In the next research project on "Conceptual design and implementation of a soil monitoring network to determine effects of climate change" (FKZ: 3719 71 204 0), which has now been in progress since 2019, analyses and assessments on the topics of soil biology and soil organic matter are being supplemented. Both parts of the report of the now updated concept as well as the statements made in the previous project for soil water balance and soil erosion (UBA 2020) can be incorporated into the implementation process of the climate impact soil monitoring network and the necessary coordination in expert committees. Together, both reports (UBA

2020 as well as this report) represent the results of the work on the conception and implementation of a soil monitoring network for four core topics.

- The network can be built up from the long-term monitoring sites established in Germany, the continued operation of which is assured according to the current status and should be open to the inclusion of newly established long-term monitoring sites. The concept provides for the measurement data to remain in the hands of the bodies collecting the data.

Conclusions and recommendations can be derived for further work:

With measuring sites identified as suitable for the network, an - albeit not complete - area coverage of the Federal Republic of Germany is established for the topics of soil biology, soil organic matter and soil water balance. For these topics, standardised survey methods based on standardised procedures (DIN/ISO) are widely used in the nationwide soil-related measurement programmes. Standardisation often leaves room to manoeuvre, e. g. in order to be able to take local conditions into account, or also because not all work steps and aspects of data collection can be specified uniformly (e. g. measurement depths, timing of measurements per year or accompanying variables to be collected). Therefore, on the one hand, a detailed documentation of the applied data collection methods and, on the other hand, the formulation of additional quality criteria for data collection are necessary.

There are still no nationally agreed procedures for deriving indicators and reference values and for evaluating changes for all the network themes.

For soil erosion, measurement activities and damage mapping are lacking in large parts of the federal territory. Mapping instructions are available for recording current forms of erosion, but there is a lack of national standards for the area-wide recording of damage events.

The answer to the questions about the extent of changes in soil condition caused by climate change and management can be achieved for three topics through a selective and targeted adaptation and further development of existing soil-related measurement activities and the development of suitable evaluation concepts (soil biology, soil organic matter, soil water balance).

Especially for the topics soil biology and soil erosion, but also for soil organic matter and soil water balance, which today can fall back on much longer and more extensive monitoring experience, additional tasks of methodological standardisation of data collection and method documentation must be mastered.

The monitoring sites registered for participation currently fulfil the quality criteria formulated for the network to varying degrees, so that certain deficits must be reduced in order to be able to make nationwide and supraregional statements. The deficits were elaborated and named in the research projects.

In order to align the soil monitoring network with reporting, e. g. within the framework of the German Adaptation Strategy (DAS), a reference to indicators must be established. In addition to the indicators already listed in the DAS, the project outlined initial ideas for further evaluations in the course of reporting on all network topics, which can be followed up in subsequent work.

In principle, it seems urgently necessary to integrate the activities for initiating the soil monitoring network into related activities, e. g. those of the National Biodiversity Monitoring Centre, the BonaRes Programme, the initiatives for establishing a National Research Data Infrastructure (NFDI), in order to use the limited resources for the operation of cost-intensive observation and survey sites and for the necessary methodological development efficiently and without duplication of work.

The implementation of the concept and the permanent operation of a climate impact soil monitoring network contribute to an increased use and thus to a better added value of soil monitoring and soil surveys in Germany. Furthermore, the observation and research of climate change impacts will be facilitated and improved in the long term through area-wide measurement and survey data.

## 1 Einführung

Die langfristige und kontinuierliche Erhebung von Daten zum Bodenzustand und seinen Veränderungen leistet einen Beitrag für den Klimaschutz, insbesondere für die Entwicklung geeigneter Klimaanpassungsstrategien. Bisher sind keine bundesweit flächendeckenden Erkenntnisse zu Trends als Folge der Klimawirkungen auf den Boden verfügbar. Das erschwert politisches Handeln im Sinne des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und des Bodenschutzes.

Eine Vielzahl von Verwaltungs- und Forschungseinrichtungen betreibt z. T. deutschlandweite Messnetze und führt Untersuchungen durch, die über lange Zeiträume den Bodenzustand und die Bodenqualität, die Bodenlebewesen und Bodenfunktionen sowie deren Veränderungen dokumentieren. Diese Daten ermöglichen es, neben Gründen wie z. B. der Bewirtschaftungsweise auch Rückschlüsse auf Auswirkungen des Klimawandels zu ziehen. Neben zentral auf EU- oder Bundesebene organisierten Programmen bestehen regionale Messaktivitäten, die die dortigen Besonderheiten und Erfahrungen berücksichtigen und die teilweise bundesweit verknüpft sind. Die Messdaten werden an vielen verschiedenen Stellen gepflegt, ausgewertet und/oder für wissenschaftliche Auswertungen zur Verfügung gestellt. Aufgrund unterschiedlicher Messkonzepte und verwendeter Methoden sind die jeweiligen Messdaten meist nur bedingt vergleichbar.

Am 31. August 2011 hat das Bundeskabinett den Aktionsplan „Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (APA)“ beschlossen. Der Aktionsplan untersetzt die am 17. Dezember 2008 verabschiedete Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) mit konkreten Aktivitäten des Bundes. In ihm werden der „Erhalt, die Weiterentwicklung, Vernetzung und Anpassung der Instrumente des Bodenmonitorings und der Erhebung des Bodenzustands“ als dringliche Maßnahmen genannt, um die im Hinblick auf die „Konzeption von Anpassungsmaßnahmen erforderlichen Daten zu langfristigen Prozessen im Boden und zu möglichen Veränderungen des Bodenzustands bereitzustellen“. Die Arbeiten zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds sind darin begründet und sollen die Umsetzung der DAS und das damit zusammenhängende Berichtswesen, die Fortschreibung des APA und des Monitoringberichts zur DAS (UBA 2019) sowie der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) aus bodenfachlicher Sicht unterstützen.

Die Arbeiten des aktuellen Forschungsvorhabens bauen auf Vorarbeiten der vergangenen 12 Jahre auf:

- ▶ **UBA-Forschungsvorhaben Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung“ (BO-KLIM)** (FKZ: 3708 71 205 01, Laufzeit: 2009-2010) (UBA 2011) mit dem Ziel, fachliche Grundlagen zur Ableitung von langfristigen Anpassungsstrategien für den Boden zu schaffen und eine Analyse der auf nationaler Ebene vorhandenen Bodendaten und Aktivitäten zum Bodenmonitoring und zur Bodenzustandserhebung durchzuführen

### *Ergebnisse:*

- Überblick über die Vielzahl der laufenden Aktivitäten zur Erhebung des Bodenzustands und zum Bodenmonitoring, Prüfung der grundsätzlichen Eignung von Bodendaten aus den wichtigsten bundesweiten und dauerhaft betriebenen Programmen des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung für die Klimaforschung und eine erstmalige messnetzübergreifende Bewertung. Im Fokus standen dabei Fragestellungen zu Veränderungen des Bodenzustands aufgrund von Klimaänderungen.
- Erstes Konzept zur Bereitstellung und effizienten Nutzung der verfügbaren Bodendaten für Fachanwender.

- 52 konkrete Empfehlungen zur Anpassung und Erweiterung der vorhandenen Messprogramme, damit das Potenzial der Bodendaten besser im Sinne der Berichterstattung zum Bodenzustand und seinen Veränderungen genutzt werden kann. Beispielsweise Vorschläge für Anforderungen an Datenerhebungen, die für die Bewertung von Veränderungen u. a. aufgrund von Klimawirkungen einsetzbar sind.
  - Vorschläge für Anforderungen an Datenerhebungen, die für die Bewertung von Veränderungen u. a. aufgrund von Klimawirkungen einsetzbar sind, eine vorläufige Bewertung der Eignung von Messaktivitäten auf Basis einer allgemeinen Beschreibung der Messprogramme und erste Vorschläge zur Einbeziehung vorhandener Messstandorte in ein bundesweites Monitoring.
  - Nebenprodukt: Veröffentlichung der Broschüre „Bodendaten in Deutschland – Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden“ (2011/2012) (UBA 2012) mit Kurzbeschreibungen von Programmen und Aktivitäten/ Steckbriefen.
- **Umfrage im Ständigen Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO-BOVA) und Beschluss zur Erarbeitung eines Konzepts für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund** (Januar 2012)  
*Ergebnisse:* Priorisierung der BOKLIM-Handlungsempfehlungen für die weitere Arbeit
- **UBA-Forschungsvorhaben „Bodendaten - Umsetzung und Handlungsempfehlungen aus dem BOKLIM Projekt“** (FKZ: 371 272 280, Laufzeit 2012-2013) (Lazar et al. 2014) **und Beschluss zur Konkretisierung des Konzepts für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund in der 18. BOVA-Sitzung** (Januar 2014)

*Ergebnisse:*

- Vorschläge für Anforderungen an Datenerhebungen, die für die Bewertung von Veränderungen u. a. aufgrund von Klimawirkungen einsetzbar sind.
- Vorläufige Bewertung der Eignung von Messaktivitäten auf Basis einer allgemeinen Beschreibung der Messprogramme und erste Vorschläge zur Einbeziehung vorhandener Messstandorte in den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund.
- Festlegung des Verbund-Ansatzes: Nutzung, Vernetzung und Weiterentwicklung bestehender bodenbezogener Messnetze.
- Erste Meldung von rund 200 Messstandorten für eine Teilnahme am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund.
- Ausweisung der vier Kernthemen des Verbunds: Bodenerosion, Bodenwasserhaushalt, Bodenbiologie und organische Bodensubstanz. Bei diesen Themen sind klimawandelbedingte Veränderungen des Bodenzustands am ehesten zu erwarten bzw. werden diskutiert.
- Diskussion des Konzeptentwurfs in einem Fachgespräch am 26.09.2013.

► **Bericht zur Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel** (adelphi et al. 2015)

*Ergebnisse:* Gesamtbild der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Dabei werden sowohl sektorale als auch sektorenübergreifende und räumliche Schwerpunkte der Klimawirkungen in Deutschland benannt. Für den Boden als ein Handlungsfeld der DAS wurden folgende Indikationsfelder betrachtet: Bodenwassergehalt, Bodenwärme, Bodenbiologie, Bodenstruktur, Bodenchemismus, Bodenerosion, Produktionsfunktion.

► **BMU/UBA-Forschungsvorhaben „Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds“ für die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion** (FKZ: 3716 48 203 0, Laufzeit 2017-2019) (UBA 2020)

*Aufgaben und Ergebnisse:*

- Sorgfältige Analyse der wichtigsten bundesweit angelegten Mess- und Erhebungsaktivitäten für den Bodenzustand.
- Dezidierte Prüfung von Messaktivitäten und deren Methoden auf Vergleichbarkeit und auf mögliche Aussagen zu den Folgen des Klimawandels für die Themen Bodenerosion, Bodenwasserhaushalt.
- Erarbeitung der entsprechenden Mindestparametersätze für diese Themen sowie Entwicklung von Ansätzen zur Datenauswertung.
- Formulierung von Qualitätskriterien für Daten und Untersuchungsstandorte sowie Eignungsprüfung der Verbundstandorte auf Repräsentanz und Vergleichbarkeit.
- Bereitschaft zur Mitwirkung im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund von über 20 Institutionen (Bundes- und Länderebene, Forschungseinrichtungen) mit insgesamt rund 5.900 Messstandorten in Deutschland.
- Erstes Konzept für die organisatorische Umsetzung des Verbunds.
- Nebenprodukt: Veröffentlichung einer neuen Auflage der Broschüre „Bodendaten in Deutschland - Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden“ (UBA 2020a).

► **Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (KWRA 2021)** (adelphi et al. 2021)

*Ergebnisse:* Ergebnisse der Analyse- und Bewertungsschritte für jedes der 13 in der KWRA 2021 berücksichtigten Handlungsfelder, Betrachtung der Klimarisiken ohne und mit Anpassung, Analyse räumlicher Muster und Handlungserfordernisse. Im Handlungsfeld Boden werden folgende Indikationsfelder bewertet: Bodenerosion, Rutschungen, Wassermangel, Sickerwasser, Vernässung, Bodenbiologie, Bodenstoffhaushalt, Filter- und Pufferfunktion und Produktionsfunktion.

## 2 Ziel und Aufgaben des Vorhabens

Im Fokus der Aktivitäten zur Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds steht die Frage: In welchem Maß verändern sich in Deutschland unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung die Bodenlebensgemeinschaft, die organische Bodensubstanz, bodenhydrologische Kenngrößen sowie das Ausmaß der Bodenerosion durch Wasser und Wind. Bei diesen Themen sind klimawandelbedingte Veränderungen des Bodenzustands am ehesten zu erwarten bzw. werden diskutiert (Ergebnis einer Umfrage im Ständigen Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz LABO-BOVA 2012).

Seit dem Jahr 2017 wurden diese Themen in zwei Forschungsvorhaben vertiefend bearbeitet. Ziel dieses Vorhabens war die Überarbeitung, Konkretisierung und der fachliche Ausbau des Konzepts für die Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds aus UBA (2020) für die Themen Bodenbiologie und organische Substanz in Böden. Auf die Ausführungen in UBA (2020) für die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion wird an dieser Stelle verwiesen.

Die Aufgabenstellung bestand darin,

- a) die in den bisher vorliegenden Konzeptentwürfen für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund (Lazar et al. 2014, UBA 2020) untersuchten Messnetze im Hinblick auf Änderungen zu untersuchen sowie bisher nicht untersuchte Messnetze einzubeziehen,
- b) die getroffenen Aussagen zum weiteren Vorgehen und zur Eignung der Messnetze anhand dieser Vorarbeiten zu prüfen,
- c) gemeldete Stammdaten von Untersuchungsstandorten und Angaben zu Messgrößen gezielt im Hinblick auf die Eignung zu Zwecken des Klimafolgen-Monitorings zu prüfen und ggf. eine Rückkopplung mit den Messnetzbetreibern vorzunehmen,
- d) darauf aufbauend nächste Arbeitsschritte zur Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (Organisation) sowie Vorschläge zur Anpassung und Weiterentwicklung von Messaktivitäten abzuleiten und den Arbeitsaufwand abzuschätzen.

Folgende vom Umweltbundesamt formulierte Fragen waren in Ergänzung zu den Arbeiten im Vorgängerprojekt und mit Fokussierung auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz zu beantworten:

Überprüfung der bisherigen Konzeption: Ist die aus dem Vorgängerprojekt vorliegende Konzeption anhand der bisher durch die Messnetzbetreiber an das UBA gemeldeten Standortdaten realisierbar? Hierzu waren Informationen über Messstandorte mit den im Konzept formulierten Anforderungen im Hinblick auf eine repräsentative Standortauswahl, -anzahl und -verteilung, den Parameterumfang sowie die Datenerhebung abzugleichen.

Folgende Überlegungen galten dabei als maßgeblich:

- a) Standorte (Anzahl, Verteilung und Abdeckung klimasensibler Räume, siehe UBA-Text 24/2015 „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“)
- b) Messparameter (Müssen an einzelnen Standorten zusätzliche Parameter erhoben werden? Wenn ja, welche? Wird eine im Bericht UBA (2011) geforderte Kontinuität von Parameterumfang und gleichwertigen Untersuchungsverfahren gewährleistet, um einen Mindeststichprobenumfang bei Zeitreihen zu erreichen?)

- c) Zeitplan der Datenerhebung (Bedarf es einer Anpassung bzw. Änderung der an den einzelnen Standorten bestehenden Messtermine und der Messhäufigkeit?)
- d) Sind Differenzierungen nach Nutzung sinnvoll (dann gegebenenfalls andere Ableitungen)?
- e) Welche Zielgrößen sind relevant? Auf welcher Messnetzdichte oder-skala?

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Konzeption in die Praxis: Welche Anpassungs- und Ergänzungsmaßnahmen sind gegebenenfalls noch erforderlich, damit der vorliegende Entwurf für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund in die Praxis überführt werden kann? Wie sieht die Bereitschaft der Daten erhebenden Stellen aus, diese Daten zur Verfügung zu stellen? Gegebenenfalls bestehende Lücken sollten benannt und ausgewiesen werden. Bei zusätzlich erforderlichen Anpassungs- und Ergänzungsmaßnahmen waren Aussagen zu anfallenden Kosten gewünscht, damit die einzelnen Messnetzbetreibenden einschätzen können, was an zusätzlichen finanziellen und personellen Belastungen auf sie zukommt.

Koordinierung, Datenhaltung und Datenqualität: Wie kann die Datenkompatibilität gewährleistet werden? Die Vergleichbarkeit der auszuwertenden Bodendaten im Hinblick auf die eingesetzten Probenentnahme- und Untersuchungsmethoden ist sicherzustellen. Welche konkreten Schritte und Vorgaben sind hierzu erforderlich? Weitere wichtige zu berücksichtigende Aspekte waren: eine einheitliche und vollständige Methoden-Dokumentation von der Probenahme bis zur Analytik (z. B. Methoden-Code) sowie zu Messunsicherheit und analytischer Qualitätssicherung, ein dokumentiertes und übertragbares Datenformat. Sind hierfür Anpassungsmaßnahmen bei den Datenlieferanten erforderlich? Wenn ja, welche? Dies ist im Einzelfall mit den betreffenden Datenlieferanten abzuklären sowie gegebenenfalls vorliegende Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen für die Daten. Wie könnte der Terminplan für die erste Phase der Datensammlung für alle genannten vier Kernthemen Bodenbiologie, Bodenerosion, Bodenwasserhaushalt und organische Bodensubstanz aussehen?

Darüber hinaus sollte die Entwicklung eines neuen Bodenindikators „Temperatur im Oberboden“ unterstützt werden, der in den von der Bundesregierung für 2023 geplanten Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) einfließen soll.

Die Ergebnisdarstellung aus den Projektarbeiten erfolgt in zwei Berichtsteilen. Teil A (siehe Kap. 4) beinhaltet die bodenfachlichen Inhalte. Teil B (siehe Kap. 5) dokumentiert das themenübergreifende Konzept für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund sowie erste Überlegungen zur fachlichen (Weiter)-Entwicklung von Indikatoren für die genannten vier Verbundthemen. Beide Teile können zusammen mit dem Bericht zum Vorgängervorhaben (UBA 2020) als Grundlage zur Umsetzung des Verbunds in die Praxis und den angestrebten dauerhaften Betrieb eingesetzt werden.

### 3 Vorgehensweise

Die Projektbearbeitung gliederte sich in die folgenden Schritte:

- a) Untersuchung der Messnetze
  - ▶ Untersuchung der im vorliegenden Entwurf für ein Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund untersuchten Messnetze im Hinblick auf seit Januar 2014 eingetretene Änderungen sowie Einbeziehung bisher nicht untersuchter Messnetze (z. B. Biodiversitäts-Exploratorien, LUCAS Soil)
  - ▶ Aktualisierung der aus den Vorgängerprojekten vorliegenden Beschreibungen von langfristig betriebenen Messprogrammen und Messaktivitäten für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz
- b) Überprüfung der Bereitschaft zur Teilnahme am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund durch Kontaktaufnahme mit a) Daten erhebenden Stellen, die in Vorgängerprojekten ihre Bereitschaft zur Mitarbeit bekundet haben und b) weiteren Institutionen, die dauerhaft bodenbezogene Messungen für die beiden Kernthemen durchführen
- c) Überprüfung der Aussagen im Konzeptentwurf von Lazar et al. (2014) zur Bewertung der fachlichen Eignung von Messnetzen und zur Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds
  - ▶ Formulierung von Anforderungen sowie Benennung von Ziel- und Begleitgrößen für jedes Verbundthema, um die Fragestellung des Verbunds „In welchem Maß verändern sich Bodenzustand und Bodenqualität unter den Bedingungen des Klimawandels und der Bewirtschaftung?“ mit Bezug auf die Themen Bodenbiologie und organischer Kohlenstoff beantworten zu können
- d) Konkretisierung und Fortschreibung des Konzeptentwurfs von UBA (2020) für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz mit Bezug auf die vom Umweltbundesamt formulierten Fragestellungen
  - ▶ Ergänzung der bisher gemeldeten Verbundstandorte und Prüfung aller Standorte im Hinblick auf Angaben zu Stammdaten der gemeldeten Messstandorte und Angaben zu Messgrößen und Erfassungsmethoden in Zusammenarbeit mit den Daten erhebenden Stellen; Grundlage war ein eigens für das Projekt konzipierter Fragebogen; Dokumentation aller gemeldeten Standorte und der dazugehörigen Informationen in einer Projektdatenbank und Qualitätssicherung der gemeldeten Daten
  - ▶ Abgleich der Informationen mit den vorab formulierten Anforderungen und Zielgrößen und vertiefte Eignungsprüfung der gemeldeten Standortdaten und Messprogramme im Hinblick auf klimarelevante Fragestellungen für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz; darauf aufbauende Ausweisung einzelner Verbundstandorte und Kernstandorte sowie geeigneter Programme
  - ▶ Einschätzung der Datenlage bzw. der Aussagemöglichkeiten, Ausweisung von bestehenden Daten- und Kenntnislücken sowie von Defiziten bei der Vergleichbarkeit der Messnetze (Messintervall oder Flächenrepräsentanz)
  - ▶ Formulierung von Qualitätsanforderungen an die Datenerhebung für Verbund- und Kernstandorte sowie von Qualitätskriterien für Verbundstandorte

- ▶ Empfehlungen zur Anpassung und Ergänzung der bestehenden Programme für eine bessere Vergleichbarkeit der Daten und Messnetze im Hinblick auf die Beantwortung der Kernfrage und für bundesweite Fragestellungen
  - ▶ Handlungsempfehlungen zur Umsetzung des Verbunds mit Aufwandsschätzung und den nötigen Arbeitsschritten
- e) Fachgespräch mit den Projektbeteiligten, der Arbeitsgruppe und weiteren Vertreterinnen und Vertretern von Bund, Ländern und Forschung zur Vorstellung und abschließenden Diskussion des Verbundkonzepts
- f) Entwicklung eines neuen Bodenindikators „Temperatur im Oberboden“ für den Monitoringbericht der Bundesregierung zur DAS 2023
- ▶ Erarbeitung von fachlichen Ansätzen zur Ausgestaltung des Indikators in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD), Abteilung Agrarmeteorologie und auf Basis von DWD-Daten. Arbeitsgrundlage bildeten die Vorgaben für das Indikatoren- und Daten-Factsheet vom KomPass-Referat im UBA (FG I 1.6)
  - ▶ Abstimmung mit UBA (FG II 2.7, FG I 1.6, Abteilung Agrarmeteorologie des DWD) und Bosch & Partner GmbH

Eine vom UBA einberufene Arbeitsgruppe bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern verschiedener Länderbehörden und Forschungseinrichtungen hat das Forschungsvorhaben fachlich beratend unterstützt (siehe Übersicht im Vorwort). In der Arbeitsgruppe wurden Zwischenergebnisse diskutiert und das weitere Vorgehen abgestimmt.

Das Fachgespräch fand in einem Online-Format im Juni 2021 mit 45 Teilnehmenden statt. Wesentliche Inhalte, Ergebnisse, Anregungen und Diskussionspunkte des Fachgesprächs wurden im vorliegenden Bericht verarbeitet.

## 4 Teil A: Bodenfachlicher Teil

Dieser Berichtsteil beschreibt die bodenfachlichen Aspekte der Konzeption eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds mit dem Fokus auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz.

### 4.1 Methoden

Die in Kapitel 3 genannten Arbeitsschritte sind methodisch wie folgt bearbeitet worden:

#### 1. Untersuchung der Messnetze

Die Aktualisierung der aus den Vorgängerprojekten vorliegenden Beschreibungen von langfristig betriebenen Messprogrammen und Messaktivitäten erfolgte auf Basis einer Internetrecherche zu Programmänderungen und -aktualisierungen anhand neu erschienener Publikationen sowie mittels Anfragen und Austausch mit den betreibenden Institutionen.

Im Rahmen der Recherche weiterer Messprogramme und Aktivitäten mit Bezug zu den Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz sind die Daten erhebenden Stellen der Programme LUCAS Soil, Biodiversitäts-Exploratorien, Biodiversitäts- und Moor-Monitoring des Thünen-Instituts, Humusmonitoring der LfL Bayern u. a. angesprochen worden.

Eine detaillierte Übersicht der im Vorhaben aktualisierten und neu erstellten Messnetz- und Kurzbeschreibungen befindet sich in Kapitel 4.2. Die vollständigen Beschreibungen sind in Anhang F dokumentiert.

#### 2. Überprüfung der Bereitschaft zur Teilnahme am Verbund

In einem Vorgängerprojekt hatten einige der Daten erhebenden Stellen bereits rund 200 Messtandorte für die Teilnahme an einem Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemeldet (Lazar et al. 2014). 2017/18 wurden in einem weiteren Vorhaben mit Fokus auf den Themen Bodenwasserhaushalt und Erosion rund 5.900 Standorte gemeldet. Im Rahmen des aktuellen Projekts hat das Umweltbundesamt 2019/20 die Anfrage zur Bereitschaft für eine Teilnahme am Verbund bei folgenden Institutionen, die dauerhaft bodenbezogene Messungen durchführen, aktualisiert, intensiviert und ausgeweitet:

- ▶ Thünen-Institut für Waldökosysteme (ICP Forests Level II, Feldlysimeter Britz, Bodenzustandserhebung Wald),
- ▶ Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, ICOS-D),
- ▶ Institutionen der Länder, die Boden-Dauerbeobachtung betreiben,
- ▶ Umweltbundesamt (Umweltprobenbank, ICP Integrated Monitoring),
- ▶ Forschungszentrum Jülich (Koordination TERENO SoilCan).

Institutionen, deren Programme bereits in vorangegangenen Arbeiten beschrieben, aber erst im Lauf dieses Projekts für die Teilnahme am Verbund angefragt worden sind:

- ▶ European Soil Data Centre (ESDAC) of the Joint Research Centre (JRC) (LUCAS Soil),
- ▶ Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung),

- ▶ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW (Humusmonitoring NRW),
- ▶ Hochschulen und Landesämter, die Dauerfeldversuche mit Bezug zu den Themen Bodenbiologie und/oder organische Bodensubstanz betreiben.

Folgende Institutionen, deren Messprogramme in diesem Forschungsvorhaben erstmals Erwähnung finden, wurden ebenfalls für eine Verbundteilnahme angefragt:

- ▶ Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung (Biologisches Messnetz der Medienübergreifende Umweltbeobachtung der LUBW),
- ▶ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Humusmonitoring Bayern).

Um anzufragende Institutionen für das Thema Bodenbiologie zu identifizieren, sind Ergebnisse einer im Jahr 2018 durchgeführten Anfrage des Umweltbundesamtes bei den Boden-Dauerbeobachtung betreibenden Bundesländern berücksichtigt worden. Die Anfrage erfolgte im Rahmen des F+E Vorhabens „Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft – Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes“, FKZ 3717 64 412 0.

Die Kontaktaufnahmen und Anfragen bezogen sich auf folgende Punkte:

- ▶ Besteht von Seiten der angefragten Institution Interesse, im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund mitzuarbeiten?
- ▶ Wenn ja: Welche Standorte können in den Verbund eingebracht werden?

Die Grundlage für die Anfragen bildet ein eigens für das Projekt konzipierter Fragebogen zur Abfrage von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen (siehe Anhang A).

Die Anfragen wurden im Jahr 2020 abgeschlossen. Die Ergebnisse der Anfragen sind in Kapitel 4.3 zusammengefasst.

### **3. Überprüfung der Aussagen im Konzeptentwurf**

Die vorläufige Eignungsbewertung der Messprogramme und -aktivitäten zur Formulierung von Aussagen zur Klimafolgenforschung und -anpassung von Lazar et al. (2014) wurde auf Basis der aktualisierten und neu erstellten Messnetzbeschreibungen für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz fortgeschrieben. Grundlegend ist die Benennung von „Zielgrößen“ für jedes Verbundthema (z. B. Bodenfeuchte, Gehalt des organischen Kohlenstoffs), um potenziell geeignete Langzeituntersuchungsstandorte zu identifizieren.

Die themenspezifische Bewertung von Programmen und Standorten hinsichtlich ihrer Eignung unterscheidet sich aufgrund verschiedener Anforderungen, die für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz formuliert werden konnten (vgl. Kapitel 4.4.3.1 und 4.4.4.1). Die vergleichsweise geringe Anzahl an Messprogrammen und -standorten, die (deutschlandweit) bodenbiologische Daten erheben, steht dabei im Gegensatz zur hohen Anzahl gemeldeter Messnetze und Standorte, die Daten zu organischer Substanz erheben, und wurde bei der Formulierung von Anforderungen berücksichtigt. Dies erfolgt u. a. durch die Definition der Begriffe „Verbundstandorte“ und „Kernstandorte“ (vgl. Kapitel 4.4.1). Die Einteilung ermöglicht die Aufnahme von Standorten in den Verbund, die Messgrößen für mindestens ein Thema gemeldet haben und schließt allgemeine Qualitätskriterien ein („Verbundstandort“). Sie hebt hingegen Standorte, die aufgrund der Erfüllung weiterer themenspezifischer Kriterien (z. B. Erhebung wichtiger

Begleitgrößen) eine besondere Eignung zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimafolgen aufweisen, davon ab („Kernstandorte“).

#### **4. Konkretisierung und Fortschreibung des Konzeptentwurfs auf Grundlage eines Fragebogens**

Die bis zum Jahr 2021 für die Teilnahme an einem Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemeldeten Standorte waren im Hinblick auf die gemachten Angaben zu Stammdaten und Messgrößen zu prüfen und ggf. durch eine Rückkopplung mit den Messnetzbetreibenden zu ergänzen. Analog zum vorangegangenen Projekt, das die Themen Bodenwasserhaushalt und Erosion untersuchte, war zu klären, ob die von Lazar et al. (2014) entworfene Konzeption anhand der bisher durch die Messnetzbetreiber an das Umweltbundesamt gemeldeten Standortdaten realisierbar ist. Hierzu wurden die detaillierten Angaben zu Standorten und Messgrößen für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz verwendet sowie ein Abgleich der Informationen mit den im Konzept formulierten und nun weiter konkretisierten Anforderungen vorgenommen (vgl. Kapitel 4.4.3.1 und 4.4.4.1). Die methodischen Ansätze für Bodenbiologie und organische Substanz sind ähnlich, passen sich jedoch an den unterschiedlichen Messumfang an. Die Ergebnisse der Eignungsprüfung sind in den Kapiteln 4.4.3.2 und 4.4.4.2 beschrieben.

Zur Durchführung der Prüfung wurde eine Datenbank mit allen bisher gemeldeten Standorten der vier Themenbereiche aufgesetzt. Darin verzeichnet sind Geodatensätze der Verbundstandorte mit Stammdaten sowie Details zu den erhobenen Messgrößen und Methoden.

Für die Ermittlung von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen bei den messenden Institutionen diente ein Fragebogen in Tabellenform mit Erläuterungen (siehe Anhang A). Der Fragebogen berücksichtigt neben gängigen Angaben zum Standort, wie z. B. Lagekoordinaten, Nutzung und Bodentyp (Stammdaten, siehe Tabelle 1), Angaben zu den einzelnen Messgrößen wie u. a. Messmethode und -instrument, Messtiefen und Messhäufigkeit (siehe Tabelle 2). Um die Angaben der Betreiber vergleichen zu können, sind in den Formularen Begriffe definiert und Listeneinträge standardisiert. Felder, deren Befüllung wünschenswert, aber nicht zwingend für die Eignungsprüfung der Standorte erforderlich ist, sind gekennzeichnet. Im Vergleich zum Vorgängerprojekt wurde der Fragebogen um einige Details erweitert, die für die themenspezifische Eignungsprüfung der Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz relevant sind.

Eine erste Befüllung der Formulare erfolgte mit den Angaben der Standorte des Vorgängerprojekts, die für die Themen Bodenwasserhaushalt und Erosion gemeldet wurden. Daraus lagen bereits allgemeine Angaben zu Eigenschaften der bis dahin gemeldeten Standorte sowie zu themenrelevanten Messgrößen und Methoden vor. Für diese Standorte wurde außerdem eine Einschätzung der Betreiber zur Eignung der Standorte für die vier Verbund-Themen im Hinblick auf Klimafolgen und -anpassung vorgenommen.

Messnetzbetreiber, die ihre Standorte bereits 2017/18 gemeldet und diese als geeignet für die Themen Bodenbiologie und/oder organische Bodensubstanz befunden haben, wurden für die Bereitstellung entsprechender Standortdaten und Messgrößen angefragt. Zudem wurden weitere Institutionen für die Teilnahme angefragt und bei Zusage um Ausfüllen des Fragebogens gebeten.

Im Vergleich zum Vorgängerprojekt wurde die Standortabfrage bei den Betreiberinnen und Betreibern der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) intensiviert, indem neben den Intensiv-BDF nun auch die Basis-BDF umfangreicher beschrieben wurden.

**Tabelle 1: Auszug aus dem Tabellenblatt zur Abfrage von Stammdaten**

Felder
Kennung und Name des Standortes
Bundesland, Gemeinde/Ort*
Lagekoordinaten
Höhe über NN (m)*
Institution und Ansprechpartner, Telefon, E-Mail
Messprogramm, Messebene (Intensiv/Forschung oder Extensiv)*
Einrichtungsjahr des Standortes, Dauerbetrieb gesichert bis ...*
Bemerkungen zum Messbetrieb, z. B. Unterbrechungen*
Bemerkungen zur Datenhaltung der Messdaten*
Ausgangsgestein, Bodentyp, Bodenart, Humusform*, Bemerkungen zu Besonderheiten des Bodens am Standort
Flächennutzung(en) <u>vor Inbetriebnahme</u> des Standortes*, Aktuelle Flächennutzung, Nutzungs-Änderungen während der Betriebsdauer*
Schutzstatus *
Hangneigung*, Exposition*
Potenzielle natürliche Vegetation*, Aktuelle Vegetation KA 5*
Aktuelle Art der Bewirtschaftung
Jahresmittel Lufttemperatur*, Niederschlagssumme*, Sonnenscheindauer* inkl. Bezugszeitraum
Vorschrift der Bodenprofilansprache*
Erfasste Basis-Parameter Bodenphysik*
Erfasste Basis-Parameter Bodenchemie*
Erfasste Bewirtschaftungs-Parameter*
Art der Bewirtschaftungs-Dokumentation und zeitliche Auflösung, Turnus der Abfrage von Änderungen*
Erfasste Klima-Parameter*, Art der Klimadaten für den Standort mit Angaben zu Messort und Datenquelle*
Rückstellproben vorhanden? Mit Angaben zu Zeitpunkten*
Eignung für Verbundthema (jeweils für Bodenwasserhaushalt, Bodenerosion, Bodenbiologie, organische Substanz) (Einschätzung des Betreibers) (ja/nein)
Spezielle Standortangaben für <u>Bodenwasserhaushalt</u> , z. B. vorhandene modellierte Größen mit Angaben zum Modell
Eignung für <u>Erosion</u> (Einschätzung des Betreibers) (ja/nein)
Spezielle Standortangaben für <u>Erosionsmessflächen</u> , z. B. Anordnung der Messeinrichtungen, Analysen des verlagerten Materials
Eignung für <u>organische Substanz</u> (Einschätzung des Betreibers) (ja/nein)

### Felder

Spezielle Angaben für organische Bodensubstanz, z. B. Wechsel der Bearbeitungstiefe im Ackerbau mit Zeitpunkt und Tiefenangaben oder Grünlandumbruch ja/nein oder Nutzungswechsel\*

Eignung für Bodenbiologie (Einschätzung des Betreibers) (ja/nein)

Spezielle Standortangaben für Bodenbiologie, z. B. aktueller Biotoptyp und Klassifikationssystem\*

Eignung für Bodentemperatur (ja/nein)

\*ergänzte Felder im Vergleich zur Standortabfrage 2017/2018

**Tabelle 2: Auszug aus dem Tabellenblatt zur Abfrage von Angaben zu Messgrößen**

### Felder

Messgröße

Messhäufigkeit / Turnus

Termine der Messungen, z. B. feste Daten, Jahreszeiten, Anzahl innerhalb des Jahres\*

Messbeginn der Messgröße (Jahr)

Methode, z. B. ISO-Standard, eigene Methode, Biotoptypenliste

Probenahme- und Messgerät(e) (optional)

Qualitätsrelevante Eigenschaften der Probenahme- und Messgeräte (optional)

Unsicherheiten, z. B. Präzision des Messgeräts, Anzahl Wiederholungsmessungen, Gerätewechsel, Bearbeitewechsel, Subsamples bei großen Individuenzahlen (optional)

Mess- oder Entnahme- bzw. Bezugstiefe(n)

Proben-/Mess-Schema vertikal (z. B. horizontorientiert, Tiefenstufen)\*

Art der Proben (Einzelproben, Mischproben)\*

Parameterspezifische Probenvorbehandlung, z. B. Siebung 2 mm, Wurzeln entfernt\*

Details der Messmethode (Details zu Parametern der Qualität der organischen Substanz; Details zu Tiergruppen und molekularbiologischen Methoden; Details zu Sickerwasserproben, z. B. Stoffe mit Angaben zur Bestimmungsmethode)

Bemerkungen zur Messgröße (optional)

\*ergänzte Felder im Vergleich zur Standortabfrage 2017/2018

Die von den Betreiberinnen und Betreibern zur Verfügung gestellten Stammdaten und Angaben zu Messgrößen wurden auf Plausibilität geprüft und ggf. vereinheitlicht. Fachliche Korrekturen erfolgten in Absprache mit den Ansprechpersonen. Formale Korrekturen, z. B. Rechtschreibkorrektur oder Verschieben von Eintragungen in andere Felder, wurden ohne weitere Rückkopplung durchgeführt. Ziel war dabei eine vollständige Befüllung der als obligatorisch gekennzeichneten Felder.

Nach erfolgter Prüfung und Aufbereitung der gemeldeten Angaben wurden alle Informationen zu Standorten und Messgrößen (aktuelle Meldungen und Meldungen von 2017/18) in eine themenübergreifende Projektdatenbank (MS Access) überführt. Die gemessenen Größen sind mit einer 1:n-Beziehung den Standorten zugeordnet. Es wurden alle Standorte integriert, die für

mindestens ein Verbundthema zumindest eine Zielgröße sowie Stammdaten und Detailangaben zu Messgrößen gemeldet hatten. Standorte ohne Zielgröße, aber mit Detailangaben zum Standort, wurden nicht in die Datenbank integriert und nicht ausgewertet, verblieben aber als gemeldete Standorte im Verbund (z. B. ein Teil der durch das LfU Bayern betriebenen BDF).

Nach abgeschlossener Integration der Stammdaten und Angaben zu Messgrößen wurden diese im ersten Schritt auf Mehrfachmeldungen einzelner Standorte überprüft; dies kommt vor, wenn Standorte von mehr als einer Institution für Untersuchungen genutzt werden (z. B. Überschneidung Level II und Boden-Dauerbeobachtung). Wenn möglich, d. h. wenn die vorliegenden Informationen zweier Institutionen gleichbedeutend waren, wurden die Stammdaten des Standortes zu einem Eintrag zusammengeführt. Die aus den Meldungen hervorgehenden Messgrößen des Standortes wurden dann unverändert beibehalten und entsprechend ihrer Herkunft (Betreiber) gekennzeichnet. Standorte, die mehrfach gemeldet worden sind, aber aufgrund unterschiedlicher Angaben nicht zusammengeführt werden konnten, sind entsprechend ihrer Herkunft gekennzeichnet. Entsprechend wurde bei den Messgrößenangaben verfahren.

Weitere durchgeführte Prüf- und Aufbereitungsschritte zur Vorbereitung der Auswertung waren die Folgenden:

- ▶ Prüfung der Referenzsysteme der Lagekoordinaten und Projektion aller Standorte in ETRS89 32N (EPSG-Code 25832)
- ▶ Abgleich und Erweiterung der Projektdatenbank mit den Standorten und Messgrößen aus dem Vorgängerprojekt
- ▶ Vereinheitlichung vorhandener Spalteneinträge
- ▶ Aufbereitung von Spalteneinträgen in einem neuen Feld, z. B. zur Vereinheitlichung der Bezeichnung der Messgrößen

Feste Algorithmen für die Plausibilitätsprüfung sind noch nicht formuliert worden.

#### **Eignungsprüfung für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz**

Anhand der vorliegenden Informationen zu Messstandorten und Messgrößen wurden Eignungskriterien für Standorte im Hinblick auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz formuliert (siehe Kapitel 4.4.3.1 und 4.4.4.1). Es wurden ausschließlich Standorte bewertet, die anhand der Vorauswahl in die Projektdatenbank aufgenommen wurden. Gemeldete Standorte, für die keine Angaben zu Zielgrößen und Details vorlagen, fanden keine Berücksichtigung. Die themenspezifische Bewertung der Programme und Standorte erfolgte in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten und ist in den Kapiteln 4.4.3.2 und 4.4.4.2 für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz beschrieben. Zunächst wurden Programme, die mindestens eine der vorgegebenen Zielgrößen für Bodenbiologie bzw. organische Bodensubstanz gemeldet haben, als potenziell geeignet erfasst. Entsprechend wurden Standorte, an denen mindestens eine der entsprechenden Zielgrößen untersucht wird, unter Berücksichtigung weiterer themenspezifischer Kriterien als „Verbundstandorte“ für das Thema Bodenbiologie und/oder organische Bodensubstanz ausgewiesen. Zur anschließenden weiteren Eingrenzung der Verbundstandorte auf sogenannte „Kernstandorte“, d. h. mit besonderer Eignung für eines der Themen, wurden weitere Kriterien formuliert.

### Eignungsprüfung für Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion

Die Standortprüfung für die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion erfolgte im Rahmen des vorangegangenen Forschungsvorhabens. Im aktuellen Vorhaben wurden Veränderungen in Bezug auf Messstandorte und Messgrößen aufgenommen, die sich aus den Meldungen (befüllte Fragebögen) der teilnehmenden Institutionen ermitteln ließen. Eine Neubewertung dieser Standorte war nicht erforderlich. Neue Standorte wurden für diese Themen nicht gemeldet.

Die Ergebnisse der Eignungsprüfung wurden der Ableitung von Handlungsempfehlungen zugrunde gelegt, die auf die Anpassung und Ergänzung der bestehenden Programme für eine bessere Vergleichbarkeit der Messdaten im Hinblick auf die Beantwortung der Kernfragen auf bundesweiter Ebene sowie auf die Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds abzielen.

### 5. Fachgespräch

Am 15. Juni 2021 fand ein eintägiges Online-Fachgespräch mit den Projektbeteiligten, den Mitgliedern der projektbegleitenden Arbeitsgruppe und weiteren Vertreterinnen und Vertretern von Bund, Ländern und Forschung statt. Das Gespräch diente zur Vorstellung und Diskussion des Verbundkonzepts und der erarbeiteten Anforderungen und Empfehlungen für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz.

### 6. Unterstützung der Entwicklung eines neuen Bodenindikators „Temperatur im Oberboden“

In Zusammenhang mit den Arbeiten der Bundesregierung zum Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) möchte das UBA gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD), Abteilung Agrarmeteorologie einen neuen Bodenindikator „Temperatur im Oberboden“ konzipieren und etablieren. Die Aufgabe bestand hier in der Unterstützung bei der Erarbeitung der dafür erforderlichen Unterlagen gemäß aller formellen und fachlichen Anforderungen. Dazu gehörten das Ausfüllen eines Indikatoren- und eines Daten-Factsheet-Formulars sowie das Erarbeiten von Vorschlägen für die Ausgestaltung des Indikators und deren Diskussion mit UBA FG II 2.7 Bodenzustand und Bodenmonitoring, UBA-FG I 1.6 KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung sowie der Abteilung Agrarmeteorologie des DWD. Daten und Auswertungen des DWD bildeten die fachliche Basis für die Indikatorentwicklung. Des Weiteren wurden Hinweise von Konstanze Schönthaler (Bosch & Partner GmbH) berücksichtigt, die im Auftrag des KomPass-Referats vom UBA die Arbeiten am DAS-Monitoringbericht 2023 fachlich federführend begleitet.

## 4.2 Ergebnisse der Messnetzuntersuchung

Nach der in diesem Forschungsvorhaben erfolgten Untersuchung der bodenbezogenen Messnetze liegen gegenüber dem Vorgängerprojekt (UBA 2020) neue Erkenntnisse vor. Vor diesem Hintergrund wurden beschreibende Steckbriefe für Messprogramme aktualisiert bzw. neu erstellt; auf weitere aktuelle Forschungs- und Messaktivitäten mit Bezug zu den Schwerpunktthemen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz wird in diesem Kapitel hingewiesen.

### Aktualisierte und neue Steckbriefe für Messprogramme und -aktivitäten

Fünf der 19 bestehenden Steckbriefe aus der Broschüre „Bodendaten in Deutschland“ (UBA 2020a) mit Bezug zu den Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz wurden aufgrund von Änderungen aktualisiert und weitere sieben Steckbriefe neu erstellt (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Übersicht der aktualisierten und neu beschriebenen Messaktivitäten**

Programm	Institution	Änderung
BZE Landwirtschaft – Bodenzustandserhebung Landwirtschaft	Thünen-Institut für Agrarklimaschutz	Aktualisierung Text
BZE Wald – Bodenzustandserhebung im Wald	Thünen-Institut für Waldökosysteme	Aktualisierung Text, Zusammenführung BZE Wald I und II
Aufbau eines bundesweiten Moormonitorings unter Wald	Thünen-Institut für Waldökosysteme	neu erstellt
Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN)	neu erstellt (Kurzbeschreibung erweitert und Aktualisierung)
Land Use and Cover Area Frame Survey Soil (LUCAS Soil)	European Soil Data Centre (ESDAC) des Joint Research Center (JRC)	neu erstellt
Humusmonitoring NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen	Aktualisierung Text
Biologisches Messnetz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung der LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung (MUB)	neu erstellt
Humusmonitoring Bayern	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	neu erstellt
Nationales Biodiversitätsmonitoring in Agrarlandschaften	Thünen-Institut für Biodiversität	neu erstellt
BDF - Boden-Dauerbeobachtung	Umweltbundesamt, FG II 2.7	Aktualisierung Anhang (bodenchemische und -biologische Messgrößen)
DFV - Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche	BonaRes Zentrum für Bodenforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung	Erweiterung Anhang um DFV für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz
Edaphobase	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN)	neu erstellt (Kurzbeschreibung)
Ökosystem-Monitoring	Bundesamt für Naturschutz (BfN), Fachgebiet II 1.3 Monitoring	neu erstellt (Kurzbeschreibung)

Für die bereits in Form von Steckbriefen beschriebenen Messprogramme lassen sich die wesentlichen Aktualisierungen zusammenfassen:

- ▶ Im Grundsatz bestehen die in der 3. Auflage der Broschüre „Bodendaten in Deutschland“ (UBA 2020a) beschriebenen bundesweiten Mess- und Erhebungsaktivitäten weiterhin und haben sich in ihren Messkonzeptionen nicht wesentlich verändert.
- ▶ Eine Aktualisierung dieser Steckbriefe erfolgte insbesondere im Hinblick auf Änderungen bei den Messgrößen, Publikationen und Fachverantwortlichen.

- ▶ Der Steckbrief der BZE Landwirtschaft wurde erweitert und einzelne Abschnitte aktualisiert, da seit dem Abschluss des Vorgängerprojektes eine neue Ergebnisdokumentation erschienen ist. Relevant insbesondere im Hinblick auf die Datennutzung ist die Aufnahme des Hinweises auf die eingeschränkte Eignung des Datensatzes der BZE LW für spezifische Fragestellungen zu Boden-Kohlenstoffvorräten. Thematische und methodische Verknüpfungen zu anderen Programmen (z. B. BZE Wald, Biodiversitätsmonitoring) wurden ergänzt. Bisher war die BZE LW eine einmalige Stichprobenerhebung; eine Wiederholungsbeprobung ist für etwa 2023 geplant. Ein Großteil der erhobenen Daten der BZE LW ist online frei verfügbar.
- ▶ Zur BZE im Wald lag bisher jeweils eine Beschreibung der Erstinventur und eine weitere der Wiederholungsinventur vor. Die Informationen wurden im Hinblick auf die Erstellung eines zusammenfassenden Steckbriefs vereinheitlicht, der Fokus lag auf der Darstellung inventurübergreifender Programminformationen mit dem Schwerpunkt der aktuellen Inventur BZE Wald II. Da Erst- und Wiederholungsinventur in zentralen Punkten, z. B. Probenahme- und Messschemata, voneinander abweichen, wird insbesondere auf den Thünen-Report 43 von Wellbrock et al. (2016) hingewiesen, der die Unterschiede sowie länderspezifische Abweichungen erläutert.
- ▶ Das Messnetz von ICOS-D wurde um drei Standorte erweitert und umfasst seit dem Jahr 2020 deutschlandweit insgesamt 18 Standorte. Es handelt sich um jeweils einen Wald-Standort in Brandenburg (Kienhorst) und Baden-Württemberg (Hartheim) sowie einen Acker-Standort in Niedersachsen (Braunschweig). Der Standort Kienhorst ist auch in die Programme BZE Wald und ICP Forests Level-II eingebunden. Im Unterschied zu allen anderen ICOS-Standorten war dort die Bodenbeprobung durch BZE Wald bzw. ICP Forests gesteuert und nicht primär durch die ICOS-Vorgaben. Der Steckbrief von ICOS-D wurde in diesem Vorhaben nicht aktualisiert; er ist der Broschüre Bodendaten (UBA 2020a, S. 106) zu entnehmen.
- ▶ Anhand der gemeldeten Standortdaten ließ sich die Beschreibung der Boden-Dauerbeobachtung im länderspezifischen Anhang mit der Aufführung bodenchemischer und -biologischer Messgrößen aktualisieren.  
Im Rahmen der Fortschreibung der länderübergreifenden BDF-Konzeption nach Barth et al. (2000) hat eine länderübergreifende Redaktionsgruppe 2019/20 eine Umfrage zu Probenahme- und Auswertungsverfahren der Bundesländer bei der Boden-Dauerbeobachtung durchgeführt. Weiterhin gibt es Bestrebungen, mit Hilfe statistischer Expertise die Ergebnisse der Bundesländer miteinander vergleichbar zu machen (mündl. Mittlg. Herr Weller 25.5.2020). Die nach unserer Kenntnis für das Jahr 2021 erwarteten Ergebnisse dieser Arbeiten sind für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund von großem Interesse, da Boden-Dauerbeobachtungsflächen für mehrere Verbundthemen als geeignet angesehen werden.
- ▶ Auf Basis der Recherche zu den Dauerfeldversuchen wurden Standorte mit Relevanz für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz ergänzt. Diese wurden mit Hilfe des BonaRes-Datenportals ermittelt (<https://dfv-karte.bonares.de/>). Dabei erfolgte die Auswahl der DFV nach der dort angegebenen Themeneignung („Habitat für Bodenleben“ und „Kohlenstoffspeicher“). Weitere Änderungen sind nicht erfolgt; eine Beschreibung der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche liegt in der Broschüre Bodendaten (UBA 2020a) vor. Verbreitete Parameter zum Thema organische Bodensubstanz (BonaRes: Kohlenstoffspeicher) sind u. a. Gesamtkohlenstoffgehalt und Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Humusgehalt und -qualität sowie das C/N-Verhältnis. Zum Thema Bodenbiologie (BonaRes: Habitat für Bodenleben) werden u. a. die Regenwurmabundanz, Regenwurmmasse, mikrobielle

Biomasse und Dehydrogenaseaktivität untersucht. Die Biomasseproduktion ist ein weiterer Parameter, der häufig auf den Flächen der Dauerfeldversuche untersucht wird. Er wird meistens durch den Pflanzenertrag der Fläche quantifiziert und dient als Begleitgröße zum Thema „organische Bodensubstanz“.

- ▶ Die Kurzbeschreibung des europaweiten Programms LUCAS Soil wurde zu einem Steckbrief erweitert. Aufgrund der Messaktivitäten im Bereich Bodenkohlenstoff, den im Jahr 2018 neu hinzugekommenen Untersuchungen zur Bodenmikrobiologie und den für 2021/2022 geplanten bodenbiologischen Untersuchungen wurde LUCAS Soil für eine Verbundteilnahme angefragt. Neben den bereits frei erhältlichen Bodendaten (per Online-Anfrageformular) der Untersuchungskampagne von 2009 wurden zuletzt (Oktober 2020) auch die Bodendaten der Untersuchungen des Jahres 2015 veröffentlicht. Eine Erweiterung des LUCAS Soil-Messnetzes ist für das Jahr 2021 geplant.
- ▶ Im Zuge der Messnetzuntersuchung hat sich gezeigt, dass das Ökosystem-Monitoring des BfN keine bodenbiologischen Untersuchungen oder sonstige Untersuchungen des Bodens durchgeführt hat. Ebenso hat Edaphobase, ein Projekt zur Sammlung und Veröffentlichung von Informationen zur Verbreitung und Ökologie von Bodeninvertebraten, kein installiertes Messnetz bzw. keine Institution, die die Flächen dauerhaft betreibt.

#### Weitere aktuelle Aktivitäten

Zusätzlich zu den oben genannten Messnetzbeschreibungen liegen weitere Hinweise vor, die im Rahmen des Vorhabens z. T. nicht mehr in Steckbriefen dokumentiert werden konnten.

- ▶ Im März 2020 veranstaltete das LTZ Augustenberg unter Leitung von Dr. Holger Flaig mit Vertretern verschiedener Bundesländer und der Schweiz einen Workshop zur Konzipierung eines Humusmonitorings auf Ackerflächen in Baden-Württemberg (Leitung LTZ). Als Ergebnis folgten der Aufbau des Monitoringprogramms und die Umsetzung der ersten Projektphase (Oberrheingebiet) im Frühjahr 2021 (mündl. Mittlg. Dr. Flaig, 28.09.2020 und 27.05.2021). In der für 2022 geplanten zweiten Projektphase wird das Monitoring auf ca. 50 über das Bundesland verteilte Standorte erweitert.
- ▶ Mit dem Auftakt im Frühjahr 2021 startete das Moorbodenmonitoring für den Klimaschutz (MoMoK) der Thünen-Institute Agrarklimaschutz (TI-AK) und Waldökosysteme (TI-WO) im Auftrag des BMEL in die Einrichtungsphase. Bis ins Jahr 2025 soll ein deutschlandweites Netzwerk aus insgesamt 250 Standorten (50 Wald- und 200 Offenlandstandorte) etabliert werden. Das Moorbodenmonitoring soll bundesweit Erkenntnisse zu Veränderungen des Kohlenstoffvorrats organischer Böden sowie zu deren Steuergrößen liefern und damit u. a. die Treibhausgasberichterstattung in diesem Bereich verbessern (Thünen-Institut 2021). Aktuelle Informationen zum Stand des Programmaufbaus und Projektdetails stehen im Internetangebot des Thünen-Instituts<sup>1</sup> zur Verfügung. Weitere Information über das Moorbodenmonitoring unter Wald wurden bereits durch die Projektverantwortlichen (TI-WO) in einem Steckbrief zusammengefasst (siehe Anhang F).
- ▶ Im Jahr 2019 initiierte die Global Soil Partnership (GSP) der Food and Agriculture Organization (FAO) der Vereinten Nationen eine weltweite Umfrage<sup>2</sup> zur Boden-Biodiversität auf nationaler Ebene. Ziel der Erhebung war es,

---

<sup>1</sup> TI-AK: [https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/moorbodenmonitoring-fuer-den-klimaschutz/?no\\_cache=1](https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/moorbodenmonitoring-fuer-den-klimaschutz/?no_cache=1) und TI-WO: [https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/moorbodenmonitoring-fuer-den-klimaschutz/?no\\_cache=1](https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/moorbodenmonitoring-fuer-den-klimaschutz/?no_cache=1), aufgerufen am 06.09.2021.

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/1203945/>, aufgerufen am 06.09.2021.

- Informationen zum Status der Boden-Biodiversität einzelner Länder zu bündeln,
- das Wissen über Gefährdungspotenziale und mögliche Betroffenheiten der Boden-Biodiversität zu verbessern,
- in den Ländern ein- bzw. umgesetzte Verordnungen, Richtlinien und Gesetze die Boden-Biodiversität betreffend zusammenzustellen sowie
- den nationalen Umgang mit und das Management von Boden-Biodiversität zu erfassen.

Hintergrund der Umfrage war die geplante Erstellung eines Berichts zum aktuellen Wissensstand zur Boden-Biodiversität hinsichtlich ihres Status, ihrer Herausforderungen und Potenziale durch die FAO, welcher im Jahr 2020 veröffentlicht wurde (FAO et al. 2020a). Er enthält ein zusammenfassendes Kapitel (Kapitel 6), in dem die Antworten auf 16 Fragen mit Bezug zu den Themen „Allgemeines“, „Erhebungen/Messungen“, „Forschung“, „Gesetzeslage“ und „Defizite/Chancen“ aus 57 Ländern zusammengefasst sind. Der darin u. a. formulierte Bedarf an Schaffung von Indikatoren, die die Erfassung und das Monitoring von Bodenzustand und Boden-Biodiversität ermöglichen, geht einher mit der Ausrichtung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (bundesweite Berichterstattung) und den im Verbundkonzept (siehe Kap. 5 / Teil B) formulierten Defiziten und Bedarfen zu diesem Thema.

- ▶ Aktuell wird das Nationale Umweltinformationszentrum des BMU, eine Plattform für alle deutschen Umweltinformationen und -daten, etabliert.<sup>3</sup> Die Informationen und Daten sollen zielgruppengerecht aufbereitet und allen Bürgerinnen und Bürgern, Wissenschaft und Forschung, Unternehmen und Industrie sowie der Verwaltung zur Verfügung stehen.

### 4.3 Standortmeldungen

Das Umweltbundesamt hat bei ausgewählten Daten erhebenden Institutionen schriftlich das Interesse an einer Mitarbeit im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund angefragt. Ausschlaggebend für die Auswahl der Institutionen war das Betreiben langfristiger und überregionaler Mess- und Erhebungsaktivitäten sowie ein fachlicher Bezug zu Bodenbiologie und/oder organischer Bodensubstanz.

Im Ergebnis haben die betreibenden Institutionen rund 9.000 bodenbezogene Standorte aus 16 Messprogrammen für eine Verbundteilnahme gemeldet:

- ▶ 74 Level II-Plots des ICP Forests-Programms (Thünen)<sup>4</sup>,
- ▶ 9 Standorte ICOS-D (Thünen)<sup>5</sup>,
- ▶ 2.043 Standorte LUCAS Soil (ESDAC),
- ▶ 1.873 Standorte der Bodenzustandserhebung Wald,
- ▶ 3.104 Standorte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft,

---

<sup>3</sup> <https://www.bmu.de/pressemitteilung/bundesumweltministerium-baut-nationales-portal-fuer-umweltinformationen-in-merseburg-auf>, aufgerufen am 06.09.2021.

<sup>4</sup> Gemeldet wurden 75 Level II-Plots, davon jedoch ein Standort ohne Angaben zu Messgrößen.

<sup>5</sup> Gemeldet wurden 12 ICOD-D-Standorte, davon jedoch drei ohne Angaben zu Messgrößen.

- ▶ 526 agrarmeteorologische Standorte des DWD für Wirkmodellierungen (ohne bodenbezogene Messungen)<sup>6</sup>,
- ▶ 51 Bodentemperatur-Messstationen des DWD (davon eine Station gleichzeitig Bodenfeuchte),
- ▶ 4 Bodenfeuchte-Messstationen des DWD,
- ▶ 11 Standorte der Umweltprobenbank des UBA,
- ▶ 626 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), davon 547 Basis-BDF und 79 Intensiv-BDF<sup>7</sup>,
- ▶ 36 Standorte des biologischen Messnetzes der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB) der LUBW<sup>8</sup>,
- ▶ 45 Standorte des Humusmonitoring NRW (LANUV),
- ▶ 347 Standorte des Humusmonitoring Bayern (LfL)<sup>9</sup>,
- ▶ 5 landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (DFV Bad Lauchstädt, 4 Versuchsflächen, UFZ), DFV Berlin-Dahlem (3 Versuchsflächen, HU Berlin) und DFV Thyrow (9 Versuchsflächen, HU Berlin), DFV Rinkenbergerhof (4 Versuchsflächen, LUFA Speyer) und DFV Bad Salzungen (1 Versuchsfläche, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und ländlichen Raum),
- ▶ 15 Feldlysimeter-Anlagen (TERENO SoilCan, Versuchsstation Britz des Thünen-Instituts für Waldökosysteme, Großlysimeter Colbitz der NW-FVA),
- ▶ 301 Standorte der Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung (Senckenberg),
- ▶ 10 Erosionsmessflächen bzw. -beobachtungsgebiete (6 Niedersachsen, 2 Sachsen-Anhalt, 2 Baden-Württemberg; Bayern 2015 aufgegeben, SH ruhend); darüber hinaus existieren schadensfallabhängige Kartierungen.

Aufgrund der vorliegenden Eignungsbewertung der Betreiberinnen und Betreiber war davon auszugehen, dass die Standorte der Bodenzustandserhebungen Wald (BZE Wald II) und Landwirtschaft, das Level II-Monitoring des ICP Forests-Programms, die Boden-Dauerbeobachtungsflächen der Länder und die Untersuchungsflächen der Umweltprobenbank, die bereits für das Thema Bodenwasserhaushalt im Vorgängervorhaben gemeldet worden waren, auch in Bezug auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz relevant sind. Die Betreiberinnen und Betreiber sprachen sich für eine weitere Teilnahme am Verbund aus und meldeten, sofern vorhanden, ergänzend Messgrößen für die Themen Bodenbiologie und/oder organische Bodensubstanz. Die Erosionsmessflächen, die Stationen des DWD sowie alle Programme der Feldlysimeter werden aufgrund ihrer Eignung für Bodenwasserhaushalt bzw. Bodenerosion auch weiterhin im Verbundkonzept geführt. Die Betreiberinnen und Betreiber dieser Messprogramme haben darüber hinaus keine weiteren Standorte oder Messgrößen für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz gemeldet. Die BDF betreibenden Länder haben ergänzende

---

<sup>6</sup> Die agrarmeteorologischen DWD-Standorte für Wirkmodellierungen wurden nicht in die Projektdatenbank aufgenommen, da hier keine bodenbezogenen Messungen durchgeführt werden.

<sup>7</sup> Von den Betreibern der BDF wurden darüber hinaus ca. 60 Standorte gemeldet, jedoch ohne Angaben zu Messgrößen.

<sup>8</sup> Gemeldet wurden 42 Standorte des Biologischen Messnetzes der MUB, davon jedoch sechs ohne Angaben zu Messgrößen.

<sup>9</sup> Die Standorte des Humusmonitoring Bayern wurden zu einem Zeitpunkt der Projektbearbeitung gemeldet, zu dem die Aufnahme von Standorten in die Projektdatenbank sowie die themenspezifische Eignungsbewertung einzelner Standorte bereits abgeschlossen waren. Das Humusmonitoring Bayern wird somit als teilnehmendes Programm geführt, die Aufnahme von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen sowie eine vertiefende Eignungsbewertung müssen jedoch noch erfolgen.

Standorte gemeldet, so dass sich eine Gesamtanzahl von 626 BDF aus 13 Ländern der für eine Verbundteilnahme gemeldeten Standorte aus Basis- und Intensivmonitoring ergibt.

Von den 18 angefragten Institutionen, die Dauerfeldversuche betreiben, sprachen sich drei für eine Teilnahme am Verbund aus. Diese sind das UFZ (DFV Bad Lauchstädt), die HU Berlin (DFV Berlin-Dahlem und Thyrow) und das LUFA Speyer (DFV Rinkenbergerhof). Eine weitere Dauer-versuchsfläche (Bad Salungen) wurde vom Thüringischen Landesamt für Landwirtschaft und ländliche Räume (TLLLR) gemeldet. Die Dauerfeldversuche zeichnen sich insbesondere durch ihre oft jahrzehntelange Messaktivität auf gleichbleibendem Standort aus und sind schon aus diesem Grund eine bedeutende Bereicherung des Verbundkonzepts. Aufgrund fehlender Kapazitäten bzw. nicht gesicherter Weiterführung des Versuchsbetriebs mussten daneben zahlreiche Betreiber von Dauerversuchsflächen (z. B. HS Anhalt, TU München, LfL, Universität Hohenheim) die Teilnahme am Verbund ablehnen.

Aufgrund der eingestellten Messungen bodenbiologischer Parameter an den beiden deutschen Messstellen des ICP Integrated Monitoring (Forellenbach und Neuglobsow) musste die Teilnahme am Verbund abgelehnt werden.

Die umfangreichen Angaben, die im Vorhaben bei den Messbetreibern angefragt wurden, sind – trotz des zum Teil erheblichen Aufwands, sofern diese nicht bereits ähnlich strukturiert und abrufbar vorliegen – von allen Institutionen bereitwillig übermittelt worden. Gleichwohl sind die inhaltliche Tiefe und Vollständigkeit der gemachten Angaben bei den einzelnen Institutionen unterschiedlich. Aus diesem Grund konnte ein kleiner Teil der im Fragebogen (siehe Anhang A) abgefragten Eignungskriterien nicht für alle Standorte ausgewertet werden. Damit verbundener Handlungsbedarf für die Aufbereitung der Projektdatenbank wird in Kap. 5.6.2 in Zusammenhang mit der Erstellung eines Verzeichnisses der Verbundstandorte formuliert (siehe auch Anhang E).

## **Fazit**

Insgesamt wurden rund 50 Institutionen eingeladen, Mess- und Erhebungsstandorte in den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund einzubringen. Das Interesse für eine Teilnahme am Verbund ist bei allen Institutionen vorhanden, deren Messbetrieb langfristig gesichert ist. Dazu gehören alle in Deutschland betriebenen behördlichen bodenbezogenen Messprogramme und -aktivitäten sowie alle überregional organisierten bodenbezogenen, forschungsgetriebenen Messaktivitäten. Damit erfährt die Idee des Messnetzverbunds in seiner bisher vorliegenden Konzeption (UBA 2020, S. 67-90) eine sehr breite Unterstützung.

Abgesagt wurde die Teilnahme ausschließlich von Institutionen, bei denen die Fortführung des Messbetriebs aktuell infrage gestellt (2 Dauerfeldversuche) bzw. denen eine Teilnahme aus Kapazitätsgründen (3 Dauerfeldversuche) nicht möglich ist. Zwei der angefragten, Dauerfeldversuche betreibenden Institutionen meldeten eine bereits erfolgte Einstellung des Messbetriebs (Landwirtschaftskammer RLP, TH Bingen). Einzelne der angefragten Institutionen haben die Einladung zur Teilnahme am Messnetzverbund nicht beantwortet (8 Betreiber von Dauerfeldversuchen, LUNG/LFoA Mecklenburg-Vorpommern für BDF, LWF Bayern für BDF).

## 4.4 Erweiterung des Konzepts für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund

Im Vorgängervorhaben wurde ein Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland erarbeitet (UBA 2020, S. 67-90). Die darin formulierten Ziele und Leistungen des Verbunds, sein Aufbau (Grundkonzept, Gremien und Beteiligte, Datenaustausch, Kartenanwendung und Geodatendienst) sowie die Empfehlungen zur Umsetzung haben im Grundsatz weiterhin Bestand. Im Verlauf dieses Projekts sind themenübergreifende Anpassungen und Erweiterungen erfolgt, welche in Teil B dieses Berichts dokumentiert sind (siehe Kap. 5).

Die Ergebnisse der im Projekt vorgenommenen fachlichen Untersuchungen und Bewertungen für die Fortschreibung des Konzepts für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz sind im Folgenden dargestellt.

### 4.4.1 Grundsätzlich geeignete Messprogramme für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz

Nach erfolgter Beschreibung der Messprogramme und -aktivitäten war die Eignung der darin erhobenen Messdaten für die Beantwortung von Fragen der Wirkung von Klimaänderungen auf die Böden Deutschlands zu bewerten. Die Bewertung gründete auf den Informationen der Fragebögen, die im Zuge der Standortabfrage von den betreibenden Institutionen befüllt wurden. Ergänzend konnte auf die Steckbriefe und Kurzbeschreibungen der Programme zurückgegriffen werden

Betrachtet wurden alle Standorte, für die die Meldung mindestens einer Zielgröße der Verbund-Themen vorliegt. Die Zielgrößen der vier Verbundthemen sind in Tabelle 8 (s. Kap. 5.5) aufgeführt.

Alle nicht dieser Anforderung entsprechenden Standorte entfielen bei der Bewertung und gingen nicht in die Projektdatenbank ein. Dies betrifft folgende Messnetze:

- ▶ Für 61 von 79 der von LfU Bayern gemeldeten Standorte wurden keine gemessenen Zielgrößen genannt; zwei dieser Standorte sind jedoch auch Teil des Level II-Programms und werden somit in der Datenbank geführt.
- ▶ Von 12 gemeldeten Standorten des Messnetzes von ICOS-D wurden lediglich für 9 Standorte Zielgrößen gemeldet; die Standorte Graswang, Schechenfilz und Hetzdorf entfallen bei der Bewertung. Darüber hinaus betreibt ICOS-D sechs weitere Messstandorte, die aufgrund fehlender Erhebung von Zielgrößen nicht für eine Teilnahme am Verbund gemeldet wurden.
- ▶ Von 42 durch das LUBW gemeldeten Standorten des Biomessnetzes der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB) werden 39 aktuell (Stand 2020) noch betrieben. Zwei der gemeldeten Messflächen wurden im Jahr 2011 verlegt, auf einer weiteren wurde der Messbetrieb im Jahr 1995 eingestellt. Darüber hinaus ergab die Prüfung der Betreiberangaben für drei weitere gemeldete Standorte die fehlende Angabe von Zielgrößen, so dass insgesamt 36 Standorte des biologischen Messnetzes der MUB der LUBW bei der themenspezifischen Bewertung berücksichtigt werden.

Die aus dem Vorgängerprojekt vorliegende vorläufige Eignungsbewertung für die Themen Bodenbiologie und organische Substanz wurde vertieft.

Die aktualisierte und um einige Messprogramme erweiterte Übersicht der Eignungsbewertung für alle Themen ist in Abbildung 1 zusammengefasst. Bei der Bewertung wurden die Verteilung der Untersuchungsstandorte, die Einheitlichkeit der angewendeten Methoden, die Art der Datenhaltung und die Datenverfügbarkeit berücksichtigt. Darüber hinaus war der Aspekt entscheidend, ob eine Flächenabdeckung für das gesamte Bundesgebiet vorhanden ist. Dies ist ausschließlich bei den im Raster angelegten Bodenzustandserhebungen in Wald und Landwirtschaft, den agrarmeteorologischen Stationen des DWD und dem europäischen LUCAS Soil-Programm der Fall (vgl. Abbildung 1).

**Abbildung 1: Einschätzung der grundsätzlichen Eignung vorhandener Messnetze für die Erfassung und Modellierung von klimabedingten Änderungen des Bodenzustands**

	Verbundstandorte mit dauerhafter Messung von Zielgrößen (Anzahl)				Für Modellierungen geeignet*	Flächen-deckend BRD	Homogene Methoden	Datenhaltung	Datenverfügbarkeit
	Biologie	Kohlenstoff	Wasserhaushalt	Erosion					
BDF	254	616	ca. 80	0	X	-	z. T.	dezentral, z. T. zentral	auf Anfrage Land
Erosions-Messflächen	0	10	0	10	X	-	-	dezentral	auf Anfrage Land
BZE Landwirtschaft	0	ca. 3.100	ca. 3.100	0	X	X	X	zentral	Online verfügbar
BZE Wald	künftig	ca. 1.900	0	0	X	X	X	zentral und dezentral	auf Anfrage Thünen
ICP Forests Level II	möglich	ca. 70	ca. 70	0	X	-	X	zentral und dezentral	auf Anfrage Thünen
Landw. Dauerfeldversuche	0	5	1	0	X	-	-	dezentral, z. T. zentral	auf Anfrage Betreiber, z. T. BonaRes-Datenzentrum
Feldlysimeter inkl. TERENO	0	0	15	0	X	-	-	dezentral, z. T. zentral	auf Anfrage Betreiber, z. T. Koordinatoren Verbünde
DWD Agrarmet. Modellierung	0	0	0	0	X (ca. 500)	X	X	zentral	auf Anfrage DWD
DWD Bodenfeuchte	0	0	4	0	X	-	X	zentral	auf Anfrage DWD
Umweltprobenbank	0	11	2	0	X	-	X	zentral	Online verfügbar
ICOS-D	0	9	9	0	X	-	X	dezentral, z. T. zentral	Online verfügbar
ICP Integrated Monitoring	0	2	2	0	X	-	X	zentral	auf Anfrage UBA
LUCAS Soil	künftig	ca. 2.000	0	0	X	X	X	zentral	Online verfügbar
Biodiversitäts-Exploration	ca. 300	ca. 300	ca. 300	0	X	-	X	zentral	Online verfügbar
Humusmonitoring NRW	0	45	0	0	X	-	X	zentral	auf Anfrage LANUV
Humusmonitoring Bayern	0	347	0	0	X	-	X	zentral	auf Anfrage LfL
MUB BW	36	36	0	0	X	-	X	zentral	auf Anfrage LUBW

Hinweis: Messnetze wurden als grundsätzlich geeignet bewertet, wenn Zielgrößen des jeweiligen Verbundthemas durch dauerhafte Messungen (nicht Modellierung) erhoben werden. Unabhängig davon wurde die themenspezifische Eignung von Messnetzen anhand zusätzlicher Eignungskriterien bewertet und kann von der hier angegebenen Eignung abweichen.

\* X = Die Standorte sind für die Modellierung von Zielgrößen des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für organische Bodensubstanz, Wasserhaushalt und Erosion geeignet, weil davon auszugehen ist, dass die erforderlichen bodenphysikalischen und bodenchemischen Eingangsdaten sowie Klimadaten vorliegen.

Die Eignung eines Programms ist prinzipiell gegeben, wenn darin die Messung der definierten Zielgrößen dauerhaft erfolgt und damit die Untersuchung von Änderungen des Bodenzustands, die auf Bewirtschaftung und/oder Klimawandel zurückzuführen sind, möglich ist. In der Abbildung 1 wurde darüber hinaus gekennzeichnet, wenn Programme Eingangsdaten für Modelle zur Verfügung stellen (z. B. bodenphysikalische und bodenchemische Kenngrößen).

Zusätzlich zur Beobachtung von Veränderungen des Bodenzustands mittels Messungen sind Modellierungen erforderlich, da an den bestehenden Messstandorten stets ein Bewirtschaftungseinfluss vorhanden und damit ein alleiniger Einfluss von Klimaänderungen nur schwierig zu identifizieren ist.

Die für Verbundstandorte geltenden allgemeinen Qualitätskriterien sind im Verbundkonzept (Teil B) aufgeführt (siehe Kap. 5.5). Die Ergebnisse der vertiefenden Eignungsbewertung der Programme und Messstandorte fließen in die Fachkonzepte ein und sind in Kapitel 4.4.3 für Bodenbiologie und in Kapitel 4.4.4 für organische Bodensubstanz beschrieben.

#### 4.4.2 Betroffenheit von Klimaänderungen

Im vorangegangenen F+E Projekt „Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds“ (UBA 2020) wird die mögliche Betroffenheit des Bodenwasserhaushalts der potenziellen Verbundstandorte von Klimaänderungen mithilfe der Vulnerabilitätsstudie des Umweltbundesamtes (adelphi et al. 2015) beschrieben. Diese Bewertungen wurden auch in die Berichterstattung zur Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) übernommen (vgl. Abbildung 2).

**Abbildung 2: Auszug der Klimawirkungen für Cluster „Land“ im Aktionsplan Anpassung III (Quelle: Deutscher Bundestag 2020)**

Klimawirkung		Bewertung der Klimawirkung:			Anpassungs- dauer	Handlungs- erfordernis hoch mittel
		Gegenwart	nahe Zukunft			
			schwacher Wandel	starker Wandel		
<b>Boden</b>						
BO						
BO-01	Bodenerosion durch Wasser und Wind/ Hangrutschung	niedrig	niedrig	mittel	lang	
BO-02	Bodenwassergehalt, Sickerwasser	mittel	mittel	hoch	lang	
BO-03	Produktionsfunktionen (Standortstabilität, Bodenfruchtbarkeit)	niedrig	niedrig	mittel	lang	
BO-04	Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität	mittel	mittel	mittel	lang	
BO-05	Org. Bodensubstanz, N(P)-Haushalt, Stoffausträge	mittel	mittel	mittel	lang	

Hinweis: Die Bewertung der Klimawirkungen entspricht dem Stand der Vulnerabilitätsanalyse 2015. Die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland beinhaltet eine aktualisierte Bewertung der Indikationsfelder im Handlungsfeld Boden (adelphi et al. 2021).

Der Bericht zur „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ (adelphi et al. 2015) erläutert die in Deutschland auftretenden Klimawirkungen (Themenfelder mit Betroffenheit von Auswirkungen des Klimawandels) und die Sensitivitäten relevanter Handlungsfelder gegenüber dem Klimawandel. Im Handlungsfeld „Boden“ werden Indikatoren, darunter auch „Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität“ und „Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, Stoffausträge“ zur Einschätzung ausgewählter Klimawirkungen bewertet. Die Einschätzung der Betroffenheit dieser beiden Indikatoren erfolgte qualitativ anhand von jeweils drei Experteninterviews. Die Ausprägung einzelner gegenwärtiger sowie zukünftiger Klimawirkungen wurde auf einer fünfstufigen Skala von „keine Klimawirkung“ (1) bis „starke Klimawirkung“ (5) eingeschätzt. Räumlich differenzierte Aussagen wurden angestrebt, konnten jedoch in

den meisten Fällen nicht getroffen werden, so dass Einschätzungen in der Regel für ganz Deutschland erfolgten.

Die Aussagen der Fachleute zur Betroffenheit von Boden-Biodiversität und mikrobieller Aktivität haben eine große Spannweite. In Abhängigkeit von der Intensität bevorstehender klimatischer Änderungen reichen sie von „geringen“ bis „eher starken“ Auswirkungen des Klimawandels auf das Bodenleben in naher Zukunft. Der Grad der Gewissheit der Aussagen zu diesem Thema wird dementsprechend als gering eingestuft. Das ist u. a. darin begründet, dass die Untersuchung und das Verständnis des hochkomplexen bodenbiologischen Systems noch erhebliche Lücken aufweisen. Zudem variiert die Klimasensitivität stark in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften, z. B. vom Wasserhaushalt. Der Grad der Betroffenheit beispielsweise grundwasserferner Standorte auf sandigem Substrat ist somit nicht übertragbar auf einen mit dem Grundwasserkörper im Austausch stehenden Auenboden. Im Gegensatz dazu herrscht Einigkeit, dass die Intensität der Bodennutzung die Auswirkungen des Klimawandels dominiert.

Schon heute lässt sich der Einfluss des Klimageschehens auf das Bodenleben durch die Zuwanderung fremder Arten feststellen. Kommen Temperaturerhöhung, Abnahme der Bodenfeuchte und des Wasserspeichervermögens an einem Standort zusammen, ist von einer Reduzierung der biologischen Aktivität innerhalb der Vegetationsperiode auszugehen. Davon betroffen wären nach Experteneinschätzung besonders die exponierten Lagen der Mittelgebirge sowie Moorstandorte.

Die Einschätzung der Klimawirkung „Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphorhaushalt, Stoffausträge“ ist durch die Kopplung bodenchemischer und -biologischer Prozesse eng verknüpft mit der Bewertung der „Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität“. Unter der Annahme, dass die Temperaturzunahme und die Verringerung des Zeitraums der Wassersättigung eines Bodens an einem Standort Zersetzungs- und Mineralisierungsprozesse sowie den Abbau von Humus fördern, könnten langfristig abnehmende Humusgehalte die Folge sein. Auch hier kommt jedoch zum Tragen, dass komplexe Vorgänge des Humushaushalts bis heute nicht abschließend erforscht sind. Die Aussagen zu Auswirkungen des Klimawandels sind sehr unterschiedlich, daher unsicher und haben ebenfalls nur „geringe“ bis „mittlere“ Gewissheit. Wie auch beim Thema Boden-Biodiversität sind aktuelle klimatische Auswirkungen nicht klar von denen der Nutzung und Nutzungsänderungen zu trennen. Die Datenlage zur Ableitung von Trends ist hinsichtlich Zeitreihendauer und Datenqualität nicht ausreichend. Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Böden und die Gesamtheit ihrer Klimawirkungen von Veränderungen der nahen Zukunft (mittlere Betroffenheit), aber auch insbesondere von Klimaänderungen der fernen Zukunft (2070 bis 2100) betroffen sein werden (stärkere Betroffenheit), hervorgerufen durch Veränderungen des Temperatur- und Niederschlagsregimes. Eine Konkretisierung der Aussagen im Hinblick auf die Entwicklung verschiedener Bodenkenngößen (positive oder negative Änderungen) ist aufgrund vom Klimaeinfluss nicht abzugrenzender Einflussfaktoren zum heutigen Zeitpunkt kaum möglich. Generalisierte Aussagen werden durch die kleinräumige Heterogenität der Bodeneigenschaften sowie durch Unsicherheiten der Klimaprognosen (Ausprägung Temperaturanstieg, Niederschlagsverteilung etc.) erschwert.

Die kurz vor dem Abschluss dieses Projekts erschienene Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland beinhaltet eine aktualisierte und differenziertere Bewertung der Indikationsfelder im Handlungsfeld Boden. Hinsichtlich der Bodenbiologie ist jedoch weiterhin offen, mit welchen Konsequenzen durch Veränderung der Temperatur, des Wasserhaushalts und des Bodenkohlenstoffs gerechnet werden muss. Auch können aufgrund etlicher Rückkopplungs- und Verstärkungseffekte noch keine generalisierten Aussagen zu den Klimafolgen auf den Bodensoffhaushalt getroffen werden. Die Sensitivität des Bodens gegenüber dem Klimawandel wird für den Boden als besonders hoch eingeschätzt, wenn der organische Anteil gering, die Vielfalt

der Bodenlebewesen durch die Landnutzung degradiert und die Bodenstruktur unter anderem durch Befahrung, Erosion oder Verdichtung bereits vorgeschädigt ist. Als besonders gefährdet werden hydromorphe Böden angesehen, die durch die zu erwartenden Niederschlagsschwankungen geschädigt werden können (adelphi et al. 2021).

#### 4.4.3 Verbund-Thema Bodenbiologie

Die Zusammensetzung der Boden-Biozönose eines Standortes, d. h. die auftretenden Arten und deren Individuenzahlen, hängen von einem Komplex zahlreicher biotischer, abiotischer und anthropogener Faktoren ab. Wichtige abiotische Faktoren sind dabei die Bodeneigenschaften, wie beispielsweise pH-Wert, Feuchte, Bodentyp und Bodenart sowie klimatische und mikroklimatische Bedingungen. Daneben wirken sich biotische Faktoren wie u. a. inter- und intraspezifische Konkurrenz und Fraßdruck sowie anthropogene Einflüsse (z. B. Nutzungstyp und Bewirtschaftungsparameter) auf die Artengemeinschaften im Boden aus. Diese Faktoren prägen einen Standort grundlegend, so dass sich eine charakteristische Zönose entwickelt, deren Individuen bzw. Arten durch zahlreiche Wechselwirkungen miteinander in Beziehung stehen. Dabei ist die Boden-Lebensgemeinschaft kein in sich geschlossenes System, sondern mit den Organismen an der Bodenoberfläche eng verbunden (Dittmer & Schrader 2000, Gisi et al. 1997, Lee 1985, Ponge et al. 2003, Toschki 2008, van Straalen 1997). So bildet sich ein standortspezifischer Vegetationstyp entsprechend der Feuchte, den vorhandenen Nährstoffen, der Temperatur, dem pH-Wert sowie weiteren, auch anthropogenen Faktoren aus, der wiederum die Basis der Nahrungsketten höherer trophischer Ebenen darstellt und in Wechselwirkung die Habitat-Eigenschaften und das Mikroklima an einem Standort beeinflusst (Braun-Blanquet 1964, Dierschke 1994). Änderungen der Boden-Lebensgemeinschaften können somit durch unterschiedliche Ursachen hervorgerufen werden, wie etwa durch Änderungen der Bewirtschaftung oder des Klimas. Um die klimatischen Auswirkungen auf die Artengemeinschaft eines Standortes erfassen und bewerten zu können, ist es daher notwendig, diesen standortspezifischen Faktorenkomplex umfassend zu charakterisieren und neben den Zielgrößen verschiedene wichtige Begleitgrößen zu messen.

Als übergeordnete Ziele eines bundesweiten Messnetzverbunds für das Thema Bodenbiologie werden angesehen:

- ▶ die Untersuchung des Einflusses der Klimaänderungen an den Verbundstandorten auf
  - die Individuenzahlen der untersuchten Tiergruppen (Großgruppen- und Art-Ebene),
  - die Artenzahlen und -zusammensetzung,
  - die Biomassen der Lumbricidae (Großgruppen- und Art-Ebene),
  - die mikrobielle Biomasse,
  - mikrobielle Funktionen,
  - molekularbiologische Parameter,
- ▶ die Untersuchung indirekter Einflüsse der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Bodenorganismen, z. B. durch klimabedingte Änderungen der Bewirtschaftung.

Der Einfluss von Klimaänderungen auf das Bodenleben kann sowohl auf der Basis von Zeitreihenanalysen der oben genannten bodenbiologischen Größen als auch mit Hilfe multivariater Analysen oder Korrelationsanalysen der Ziel- und Begleitgrößen sowie der

Standortcharakteristika untersucht werden. Bewertungsgegenstand sind die zeitlichen Veränderungen bodenbiologischer Größen, wobei auch die Autökologie der Tierarten zu berücksichtigen ist, d. h. die Frage, in welchem Maß klimasensitive Arten zu- bzw. abnehmen. Es fehlen noch Erkenntnisse darüber, welche Arten besonders klimasensibel sind und sich dadurch als Indikatorarten eignen.

Um Anforderungen an die Erhebung von Messdaten zu formulieren, sind die in Tabelle 4 aufgeführten Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die die Boden-Lebensgemeinschaften prägen. Zudem sollten Wirkgrößen benannt werden, anhand derer sich die Folgen der Veränderungen in den Boden-Biozönosen auf einer übergeordneten Ebene erkennen lassen. Für die Boden-Lebensgemeinschaften bedeutet dies beispielsweise, dass sich Änderungen der gemessenen Zielgrößen, wie etwa der Individuenzahlen von Lumbricidae oder Collembola, auch auf Organismen höherer trophischer Ebenen auswirken. In Tabelle 4 sind auch die Zielgrößen für das Thema Bodenbiologie und Beispiele möglicher Wirkgrößen zusammengefasst.

**Tabelle 4: Einflussfaktoren und relevante Größen für das Thema Bodenbiologie**

<b>Einflussfaktoren</b>	Lufttemperatur, Bodentemperatur, Niederschlag Bodenfeuchte Vegetation (Mikroklima, Nahrungsgrundlage) Biotoptyp Bewirtschaftung generell (Fruchtfolgen, Düngung, Kalkung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, Bewirtschaftungsintensität) sowie deren Veränderung (indirekte Auswirkungen der Klimaänderungen) Höhenlage, Hangneigung, Exposition Ausgangsgestein, Bodentyp, Bodenart, Humusform Grundwasserstand Bodenphysikalische Parameter (Korngrößenverteilung, Porenvolumen, Trockenroh-dichte) Bodenchemische Parameter (Carbonatgehalt, Boden-pH-Wert, Gesamtkohlenstoffgehalt, Gesamtstickstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Gehalt des organischen Stickstoffs, C/N-Verhältnis)
<b>Zielgrößen</b>	Tiergruppe*: Artenzahl, Individuenzahl, Biomasse Mikrobielle Biomasse, mikrobielle Basalatumung, metabolischer Quotient, $C_{mik}/C_{org}$ -Quotient N-Mineralisation, Zelluloseabbau, Arginin-Ammonifikation, Phospholipidfettsäuren (mikrobielle Gemeinschaftsstruktur, Pilz/Bakterienverhältnis), Aktivität Bodenenzyme** Molekularbiologische Parameter (Untersuchungen mittels DNA-Barcoding): Allgemeine Bodenpilze, arbuskuläre Mykorrhizapilze, Bodenbakterien
<b>Wirkgrößen (Beispiele)</b>	Organismen höherer trophischer Ebenen (Nahrungsnetze) Biodiversität Stoffumsätze

\* Z. B. Collembola, Oribatida, Gamasina, Lumbricidae, Enchytraeidae, Nematoda.

\*\* Z. B. Arylsulfatase, Beta-Glucosidase, Katalase, Protease, Dehydrogenase, Cellulase.

#### 4.4.3.1 Anforderungen an die Datenerhebung

##### Qualitätskriterien für einzelne Verbundstandorte und Kernstandorte

Zu Beginn der Auswertungen wurden aus den für den Verbund gemeldeten Standorten Gruppen gebildet (z. B. BDF Sachsen-Anhalt, extensiv oder das Messnetz der Biodiversitäts-Exploratoren) und einer gemeinsamen Bewertung unterzogen. Die Bewertung dieser Gruppen erfolgte anhand der Informationen aus den messnetzspezifischen Steckbriefen (Anhang F) sowie der Projektdatenbank mit Stammdaten und Angaben zu Messgrößen an den für den Verbund gemeldeten Standorten. Die hierfür zugrundeliegenden Zielgrößen sind in Tabelle 4, die Begleitgrößen in Tabelle 5 aufgelistet.

Begleitgrößen sind zum einen spezifische Standortcharakteristika, wie beispielsweise Höhenlage, Hangneigung, Ausgangsgestein oder Bodentyp, die für jede Fläche einmalig ermittelt werden, zum anderen verschiedene Größen, die neben den Zielgrößen gemessen werden (vgl. Tabelle 5). Diese Begleitgrößen, wie u. a. unterschiedliche klima- und bodenchemische Parameter, unterliegen kontinuierlichen Veränderungen, die eine fortlaufende Messung erfordern. Zudem sollte durch die Bewirtschafter der Flächen eine detaillierte Dokumentation der Nutzung erfolgen.

In keiner Standort-Gruppe werden alle als obligatorisch aufgeführten Begleitgrößen (vgl. Tabelle 5) gemessen und alle allgemeinen Qualitätskriterien (siehe Kap. 5.5) erfüllt. Generell wurden bisher nur wenige standardisierte Langzeituntersuchungen der Bodenbiologie in die verschiedenen Monitoring-Programme aufgenommen. Eine Standort-Gruppe wurde daher als geeignet eingestuft, wenn die folgenden Minimalanforderungen erfüllt waren:

- ▶ Informationen zu Messhäufigkeiten, Methodik und Probenahme-Schema liegen in der Projektdatenbank vor,
- ▶ Messung mindestens einer der Zielgrößen für das Thema Bodenbiologie (siehe Tabelle 4) und
- ▶ Aufnahme standortcharakterisierender Begleitgrößen (siehe Tabelle 5).

Obgleich die Erfassung wichtiger Begleitgrößen als Kriterium festgelegt wurde, war es kein Ausschlusskriterium für die Eignung als Verbundstandort für das Thema Bodenbiologie, wenn in einem Messprogramm einige dieser aufgeführten Größen fehlten.

Als „Kernprogramme“ und „Kernstandorte“ werden solche Standorte angesehen, die besonders gut für das Thema Bodenbiologie geeignet sind. Diese zeichnen sich aus durch:

- ▶ häufige Datenerhebungen von Bodenorganismen in Verbindung mit genauen Messungen der Klimaparameter: Sowohl das Wetter als auch die Individuen- und Artenzahlen der Bodenorganismen unterliegen jährlichen Schwankungen. Standorte, an denen die klimatischen Begleitgrößen (z. B. Lufttemperatur, Niederschläge, Bodenwassergehalt, Bodentemperatur, mindestens monatliche Summen bzw. Mittelwerte) und die Zielgrößen (mindestens jährlich) gemessen werden, sind daher in besonderem Maß geeignet, etwaige Korrelationen zwischen beiden Messgrößen zu identifizieren.
- ▶ Abdeckung unterschiedlicher klimatischer Regionen und Höhenzonen innerhalb eines Messnetzes: Durch eine umfassende Abdeckung dieser klimarelevanten Parameter können etwaige Abhängigkeiten der Zielgrößen von klimatischen Bedingungen identifiziert werden. So könnten beispielsweise Indikatorarten ermittelt und benannt werden, die vorwiegend in kühleren Regionen und größeren Höhenlagen vorkommen und damit vermutlich auf

Änderungen des Klimas reagieren. Die Messungen müssen mit einheitlicher, standardisierter Methodik und zeitgleichen Probenahmen erfolgen.

- ▶ Bestimmung der Artengemeinschaften von Bodentieren: Die Lebensgemeinschaften an einem Standort sind durch einen Komplex verschiedener abiotischer, biotischer sowie anthropogener Faktoren bestimmt, so dass sich Änderungen dieser Faktoren auf die Zusammensetzung der Zönosen auswirken (s.o.). Um diese Auswirkungen nachweisen zu können, ist eine möglichst detaillierte Aufnahme der Artengemeinschaften vorteilhaft. Bei den Untersuchungen der Bodentiere werden neben den Individuenzahlen und Biomassen meist auch die Artengemeinschaften berücksichtigt, so dass eine umfassende Charakterisierung der entsprechenden Lebensgemeinschaft vorliegt.

Ein Messnetz oder Verbundstandort wird als Kernprogramm bzw. -standort eingestuft, wenn mindestens zwei der genannten Kriterien erfüllt sind.

### **Anforderungen an ein deutschlandweites Messnetz**

Deutschland besteht durch seine geografische Lage – die Küsten von Nord- und Ostsee im Norden, die Nähe zum Atlantik im Westen, den Übergang in kontinentalere Regionen im Osten, die Mittelgebirge sowie die Alpen im Süden – aus einem Mosaik verschiedener klimatischer sowie biogeografischer Regionen. Zudem ist die Landschaft durch die vielfältige anthropogene Nutzung in zahlreiche Biotoptypen mit sehr unterschiedlichen standortökologischen Eigenschaften unterteilt (Riecken et al. 2003).

Um bundesweit geltende Aussagen zu klimabedingten Veränderungen der Boden-Lebensgemeinschaften treffen zu können, werden Messdaten benötigt, die an geeigneten Verbundstandorten innerhalb der nachfolgenden Kategorien repräsentativ und mittels einheitlicher Standard-Methoden erhoben werden:

- ▶ biogeografische Regionen Deutschlands (BfN 2008),
- ▶ Klimaräume (alpin/atlantisch/kontinental, BfN 2008),
- ▶ flächenmäßig häufige Nutzungs- und Biotoptypen (Finck et al. 2017, Statistisches Bundesamt 2019),
- ▶ klimasensible Biotoptypen (z. B. Moore oder Nasswiesen, vgl. Wiemers et al. 2013).

**Tabelle 5: Qualitätskriterien des Verbunds für das Thema Bodenbiologie**

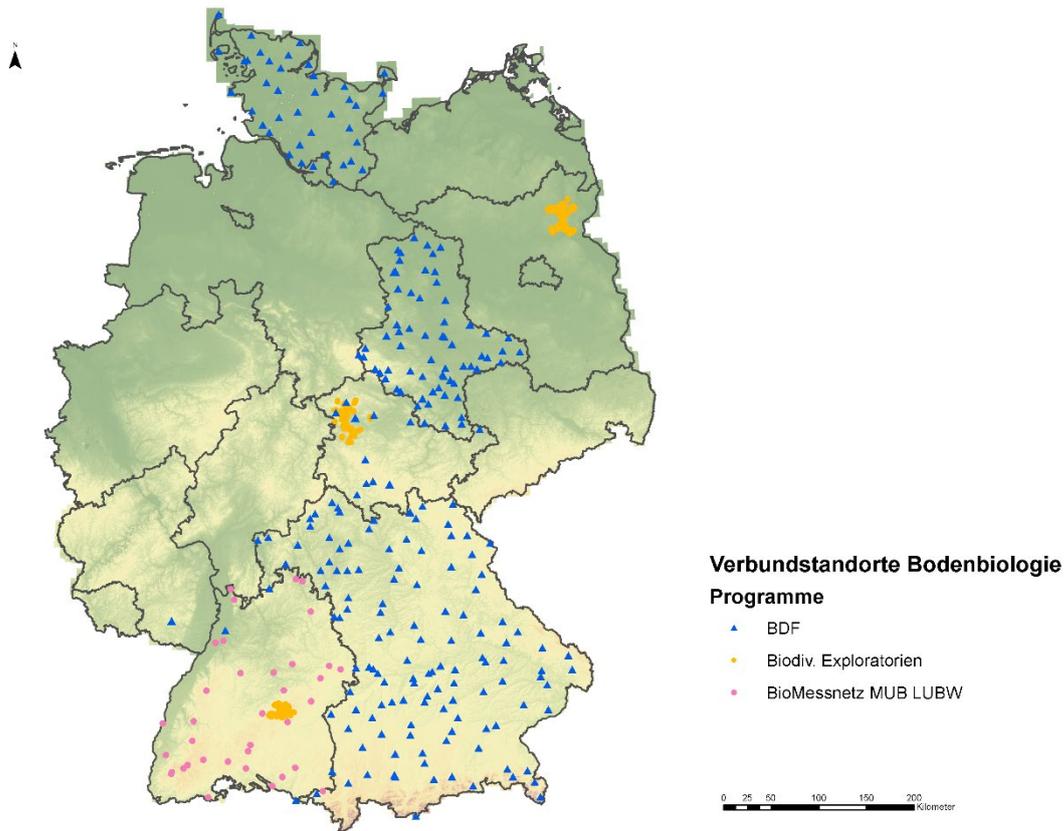
Kriterium	Angabe
Erfasste Zielgrößen	siehe Tabelle 4
Erfasste Begleitgrößen	<p><u>obligatorisch:</u>                      Ausgangsgestein, Bodenart, Bodentyp                      Höhenlage, Hangneigung, Exposition                      Biotoptyp inkl. Klassifikationssystem                      Vegetation                      Boden-pH-Wert                      Carbonatgehalt                      Gesamtkohlenstoffgehalt                      Gehalt des organischen Kohlenstoffs                      Gesamtstickstoffgehalt                      C/N-Verhältnis                      Dichte                      Korngrößenverteilung                      Bodenfeuchte, z. B. Wasserspannung (min. Monatswerte), Bodenwasser-                      sergehalt (bei Probenahme)                      Bodentemperatur (min. Monatswerte)</p> <p><u>wünschenswert:</u>                      Grundwasserstand                      Gehalt des organischen Stickstoffs                      Humusform</p>
Erfasste Bewirtschaftungs-Parameter	<p><u>obligatorisch:</u>                      Bewässerung                      Bewirtschaftungsart                      Vorfrucht                      Fruchtart (Hauptkultur) oder Hauptbaumart                      Zwischenfrucht                      Bedeckungsgrad des Aufwuchses                      Bodenbearbeitung                      Düngung                      Kalkung                      Pflanzenschutz                      Mahdhäufigkeit (Grünland)                      Viehbesatz (Grünland) (=Nutzungsintensität)</p>
Art der Bewirtschaftungs-Dokumentation und zeitliche Auflösung, Turnus der Abfrage von Änderungen	Fortlaufende Dokumentation der Nutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte, insbesondere Vornutzung, Nutzungswechsel, Veränderung der Bodenbearbeitungstiefe, Ereignisse von Erosion/Deposition; z. B. mit Hilfe von Schlagkarteien, Aufnahmeblättern, Luftbildern
Erfasste Klima-Parameter	<p><u>obligatorisch:</u>                      Niederschlagsmenge                      Lufttemperatur</p> <p><u>mindestens:</u> Monatswerte                      idealerweise: Tageswerte                      (seit Beginn der Boden-Untersuchungen)</p>
Art der Klimadaten für den Standort mit Angaben zu Messort und Datenquelle	<p>Mögliche Quellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DWD-Klimadaten im 1 km-Raster für ganz D (Hydromet),</li> <li>- gemessen an der Station</li> <li>- gemessen an einer für den Standort repräsentativen Klimastation</li> </ul>

Kriterium	Angabe
Rückstellproben vorhanden? mit Angaben zu Zeitpunkten	wünschenswert
Messhäufigkeit / Turnus	<u>Forschung/Intensivmonitoring:</u> mindestens jährlich <u>Extensivmonitoring:</u> mindestens alle 10 Jahre
Termine der Messungen	obligatorisch
Messbeginn der Messgröße (Jahr)	obligatorisch
Methode	z. B. ISO 23611-1: Lumbricidae ISO 23611-2: Mikroarthropoda ISO 23611-3: Enchytraeidae DIN ISO 14240-2: mikrobielle Biomasse von Böden - Teil 2: Fumigations-Extraktionsverfahren DIN ISO 23753-2: Dehydrogenaseaktivität - Verfahren mit Iodotetrazoliumchlorid (INT)
Unsicherheiten (optional)	Probenahme-Schema (Replikate) muss bekannt sein
Mess- oder Entnahme- bzw. Bezugstiefe(n)	<u>obligatorisch:</u> Angaben zu Entnahmetiefen sowie zu Mächtigkeit und Horizontierung der Streuschicht sowie des Mineralbodens
Proben-/Mess-Schema vertikal	obligatorisch
Art der Proben (Einzelproben, Mischproben)	obligatorisch
Parameterspezifische Proben- vorbehandlung	sollte durch die Standardisierung der Methode abgedeckt sein
Details der Messmethode	wichtige Ergänzungen zur Probenahme etc. müssen angegeben sein

#### 4.4.3.2 Geeignete Programme und Standorte

Die Bewertung der verschiedenen Standort-Gruppen (vgl. Kap. 4.4.3.1) ergab drei Messprogramme, in denen bodenbiologische Daten erhoben werden und die den formulierten Kriterien (mind. eine Zielgröße wurde gemeldet, Angabe zu Messhäufigkeit, Methodik etc. ist vorhanden und Begleitgrößen werden erfasst) an die Datenerhebung entsprechen. Diese Programme werden im Folgenden vorgestellt. Die als Verbundstandorte geeigneten Untersuchungsflächen für das Thema Bodenbiologie sind in Abbildung 3 dargestellt.

**Abbildung 3: Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie**



An allen Standorten, an denen die Untersuchung bodenbiologischer Zielgrößen erfolgt, werden auch umfangreiche standortcharakterisierende Messungen durchgeführt. Im Rahmen der Bewertung der einzelnen Messnetze bzw. Standort-Gruppen wurden folglich nur fehlende, wichtige Begleitgrößen oder Qualitätskriterien benannt. Somit ist der Untersuchungsrahmen bzw. die Messung einzelner Parameter für etwaige Datennutzer nachvollziehbar und fehlende Daten können von anderer Stelle bezogen und ergänzt werden (z. B. Klimadaten des DWD).

### **Boden-Dauerbeobachtungsflächen**

In sieben Bundesländern werden derzeit und zukünftig bodenbiologische Daten erhoben, wobei innerhalb der Bundesländer teilweise verschiedene Landesbehörden beteiligt sind oder eine Unterscheidung zwischen Basis- und Intensivbeobachtungsflächen vorliegt. Hierdurch ergeben sich insgesamt neun Untergruppen der BDF, die sich als Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie eignen.

Insgesamt werden auf 249 BDF bodenbiologische Daten erhoben, wobei 11 Flächen auf die Intensiv-BDF und 243 Standorte auf die Basis-BDF entfallen (5 Flächen in Schleswig-Holstein werden als Intensiv- und Basis-BDF genutzt, siehe Anhang B). In den Bundesländern Baden-Württemberg (1 BDF), Rheinland-Pfalz (1 BDF), Hamburg (3 BDF), Thüringen (12 BDF), Schleswig-Holstein (37, 32 Basis-BDF und 5 Intensiv- und Basis-BDF), Bayern (121 LfL, 4 LfU) sowie Sachsen-Anhalt (66 Basis-BDF und 4 Intensiv-BDF) werden unterschiedliche bodenbiologische Untersuchungen durchgeführt. Dabei werden verschiedene Bodentiergruppen (Collembola, Lumbri-*cidae*, Enchytraeidae) sowie bodenmikrobiologische Parameter ( $C_{mik}/C_{org}$ , mikrobielle Biomasse [C, N], mikrobielle Basalatmung, metabolischer Quotient, Arginin-Ammonifikation, Arylsulfatase- und Katalase-Aktivität) aufgenommen, wobei in Bayern ausschließlich Daten zu

Bodentieren und in Sachsen-Anhalt und Thüringen nur bodenmikrobiologische Parameter erhoben werden; in den anderen vier Bundesländern werden sowohl bodenzoologische als auch -mikrobiologische Parameter gemessen.

**Die untersuchten Ziel- und Begleitgrößen sowie die angewendeten Methoden, Studiendesigns und Messhäufigkeiten weisen beträchtliche Unterschiede zwischen den Bundesländern auf.** So werden beispielsweise die Lumbricidae in Baden-Württemberg mittels Elektrofang und Handauslese erfasst und in Bayern kommt eine Methodenkombination aus Austreibung (mittels einer stark verdünnten Formaldehydlösung) und einer Handauslese zum Einsatz. **Zudem unterscheiden sich die Messhäufigkeiten der verschiedenen Zielgrößen sehr deutlich:** In Baden-Württemberg werden halbjährlich Daten erhoben, in Hamburg dagegen erfolgen die Probenahmen alle 10 Jahre (vgl. Anhang B). **Daher sind Auswertungen der Daten nach heutigem Stand nur innerhalb der einzelnen Bundesländer möglich; für eine bundeslandübergreifende Auswertung der Messreihen bedarf es umfassender methodischer Angleichungen.**

Nicht bewertet werden können 12 von 18 durch das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUG) gemeldete Standorte der Boden-Dauerbeobachtung Thüringens, an denen bodenbiologische Parameter (metabolischer Quotient, mikrobielle Biomasse und Basal-atmung) erhoben werden, da für diese BDF die Angaben zu Messhäufigkeit („unregelmäßig“), Messterminen und Messbeginn fehlen.

Die sieben o.g. Bundesländer liegen insbesondere im Norden (Schleswig-Holstein, Hamburg) sowie im Süden (Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz) Deutschlands, wobei auf den Flächen in Bayern ausschließlich Lumbricidae untersucht werden. In den mitteldeutschen Bundesländern (Sachsen-Anhalt, Thüringen) dagegen werden nur bodenmikrobiologische Parameter erhoben. Deutlich mehr Zielgrößen werden vor allem in den Bundesländern gemessen, in denen lediglich ein bis drei BDF betrieben werden, sowie in Schleswig-Holstein. In Schleswig-Holstein liegen BDF in klimasensitiven Biotoptypen.

**Die Verteilung der einzelnen Zielgrößen innerhalb Deutschlands ist insgesamt als lückenhaft zu bewerten. Durch die BDF werden vor allem die stark anthropogen geprägten Biotoptypen Forst, Acker, Grünland sowie einige Sonderkulturen und -biotope (z. B. Hopfen) abgedeckt, so dass in diesem Messnetz Defizite insbesondere bei naturnahen und klimasensiblen Habitaten, wie beispielsweise Mooren, vorliegen.**

#### **Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung**

Die Biodiversitäts-Exploratorien wurden zwischen 2006 und 2009 eingerichtet. Seit dem Jahr 2011 werden auf insgesamt 300 Flächen (d. h. je 100 Flächen in drei Untersuchungsgebieten in Brandenburg, Thüringen und Baden-Württemberg) die folgenden bodenbiologischen Zielgrößen erhoben:

- ▶ Mikrobielle Biomasse (C, N)
- ▶ Mikrobielle Gemeinschaftsstruktur (Phospholipidfettsäuren, PLFA)
- ▶ Pilz/Bakterien-Verhältnis (PLFA)
- ▶ Potentielle Enzymaktivität (Methylumbelliferon, MUF)
- ▶ Molekularbiologische Parameter: Bestimmung der Bodenbakterien, arbuskulären Mykorrhizapilze und allgemeinen Bodenpilze mittels DNA-Barcoding

Die Datenerhebungen erfolgen alle drei Jahre, so dass die mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen für ein Extensiv-Monitoring geeignet sind. Neben den Summenparametern, d. h. der mikrobiellen Biomasse und der potentiellen Enzymaktivität, werden zudem mikro- und molekularbiologische Parameter gemessen, die die Gemeinschaftsstruktur und Diversität der Bodenbakterien und -pilze berücksichtigt.

Neben den Zielgrößen werden umfassende, standortcharakterisierende Begleitgrößen erhoben. Hervorzuheben ist, dass alle Experimentierplots mit Klimastationen ausgestattet sind, die fortlaufend verschiedene Klimaparameter messen, wie beispielsweise die Boden- und Lufttemperatur sowie die Bodenfeuchte. Zudem wird die Bewirtschaftung sehr detailliert dokumentiert. Ein weiterer Parameter, der für die Beurteilung von Klimaänderungen auf die Bodenlebewesen fehlt, ist die Angabe des genauen Biotoptyps. Für eine weitere Untersuchungsfläche in Thüringen, die für den Verbund gemeldet wurde, fehlen wichtige Angaben zu beispielsweise Bodenart, Bodentyp und aufgenommenen Begleitgrößen, so dass diese Fläche zu diesem Zeitpunkt für das Thema Bodenbiologie nicht berücksichtigt wird.

Die Messdaten der Ziel- und Begleitgrößen werden in der Projektdatenbank BExIS gespeichert.

**Durch die regelmäßigen, umfassenden Datenerhebungen der Ziel- und Begleitgrößen sind die Biodiversitäts-Exploratorien als gut geeignete Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie, insbesondere die Bodenmikrobiologie, zu bewerten.**

Nach Abschluss der Zusammenstellung von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen wurde von der FVA Baden-Württemberg, Freiburg darauf hingewiesen, dass in Biodiversitäts-Exploratorien auch bodenfaunistische Aufnahmen durchgeführt werden. Diese konnten noch nicht in die Bewertung einbezogen werden.

#### **Biologisches Messnetz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg**

Die Einrichtung des Messnetzes erfolgte zwischen 1986 und 2011. In diesem Zeitraum begannen auch die bodenbiologischen Untersuchungen der folgenden Zielgrößen:

- ▶ Collembola: Individuen, Arten
- ▶ Lumbricidae: Individuen, Arten, Biomasse

Dabei werden die Collembola an insgesamt 36 für den Verbund gemeldeten Forst- und Grünlandstandorten und die Lumbricidae in 18 forstlich bewirtschafteten Flächen untersucht. Die Probenahmen werden in unregelmäßigen Abständen durchgeführt, wobei detailliertere Informationen zur Methodik der angegebenen weiterführenden Literatur zu entnehmen ist (Griegel 2012, Thielemann 1986, Zaborski 2003). Zudem werden verschiedene, standortcharakterisierende Begleitgrößen aufgenommen, wobei einige Parameter nicht auf allen Flächen erhoben werden.

Zur umfassenden Flächencharakterisierung fehlen die folgenden Begleitgrößen bzw. Standortcharakteristika: Bodenart, Vegetationsaufnahmen, Klima (Mittelwerte und Bezugszeitraum), Niederschlag, Biotoptyp, Gehalt des organischen Kohlenstoffs sowie an den Grünland-Standorten die Lufttemperatur, Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Die Daten der Ziel- und Begleitgrößen werden in MS Excel gespeichert.

Durch die weite Verteilung der Standorte in Baden-Württemberg werden die größeren Naturräume des Landes gut abgedeckt, wobei die Grünland-Flächen extensiv genutztes, artenreiches Grünland eher trockener Ausprägung in Naturschutzgebieten darstellen.

Aufgrund der unregelmäßigen Abstände der Beprobungen sind die Standorte des biologischen Messnetzes für ein Extensiv-Monitoring bzw. als Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie, speziell die Bodenzologie geeignet.

### **Weitere biologische und bodenbiologische Untersuchungen**

Zu einigen Programmen liegen Informationen vor, dass bodenbiologische Untersuchungen bereits stattfinden bzw. zukünftig geplant sind. Die vorliegenden Angaben zu den Messungen reichen jedoch nicht aus, um eine Eignungsprüfung zum Thema Bodenbiologie durchzuführen:

An einigen ICP Forest Level II-Standorten in Baden-Württemberg war ab dem Jahr 2018 die Erfassung von Regenwurmgemeinschaften, Raubarthropoden und Mykorrhiza geplant (UBA 2020); diese wurden bislang jedoch noch nicht näher beschrieben. Zudem wurden von der NW-FVA Level II-Plots in Niedersachsen (8), Sachsen-Anhalt (3) und Hessen (2) als potenziell für das Thema Bodenbiologie geeignet bewertet; Messgrößen wurden jedoch noch nicht gemeldet. Die Abfrage von Details ist zentral über das Thünen-Institut erfolgt. Dabei wurden keine bodenbiologischen Größen mitgeteilt, da diese nicht Bestandteil des aktuellen Monitorings sind.

Auf den BDF in Niedersachsen finden seit dem Jahr 2019 bodenzoologische Datenerhebungen statt, das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) hat jedoch noch keine detaillierten Messgrößen gemeldet. Auch im Rahmen des LUCAS Soil-Monitorings wurde im Jahr 2018 mit der Untersuchung erster bodenmikrobiologischer Zielgrößen (Bakterien, Pilze, Eukaryonten) begonnen, ab 2021 sind Datenerhebungen zu Lumbricidae und ab 2022 zur Bodenmikro- und Mesofauna geplant. Die Level II-Flächen, die BDF in Niedersachsen sowie das LUCAS Soil-Programm könnten daher ebenfalls für das Thema Bodenbiologie im Verbund geeignet sein, können zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht in die Bewertung einbezogen werden.

Des Weiteren existiert die Stichprobenkulisse der „bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen“, die durch das BfN in Kooperation mit dem Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) und dem Statistischen Bundesamt eingerichtet wurden. Auf diesen deutschlandweit verteilt gelegenen Flächen finden bereits verschiedene Monitoring-Aktivitäten statt, wie beispielsweise das Brutvogelmonitoring, der „High Nature Value Farmland-Indikator“ sowie das Ökosystem-Monitoring.

Auch die Einrichtung eines deutschlandweiten Insekten-Monitorings ist auf diesen Flächen geplant, das bereits teilweise im Rahmen eines landesweiten Monitorings in Baden-Württemberg durchgeführt wird (BfN 2020, LUBW 2020). Grundsätzlich ist diese Stichprobenkulisse besonders gut für deutschlandweit repräsentative biologische Untersuchungen geeignet. Da derzeit jedoch keine bodenbiologischen Daten erhoben werden, wird eine Eignungsprüfung nicht vorgenommen.

Erwähnenswert sind auch die Datenerhebungen im Rahmen der Edaphobase-Länderstudie, in die verschiedene bodenzoologische Gruppen in Verbindung mit umfassenden standortcharakterisierenden Parametern aufgenommen wurden. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um ein dauerhaft betriebenes Messnetz, so dass die Standorte in dieser Form nicht für den Verbund geeignet sind. Sie könnten jedoch als Untersuchungsflächen für spätere Erhebungen dienen, so dass die Artenspektren verschiedener Zeitpunkte miteinander verglichen werden könnten (Toschki et al. 2021).

### **Kernstandorte für das Thema Bodenbiologie**

Entsprechend den in Kap. 4.4.3.1 definierten Kriterien (häufige Datenerhebung inkl. Klimaparameter, Repräsentativität, Artengemeinschaft wird untersucht) sind die folgenden Messnetze bzw. Verbundstandorte besonders gut geeignet, um den Einfluss der Klimaänderungen auf

Bodenorganismen zu untersuchen, und werden als Kernprogramme bzw. Kernstandorte für das Thema Bodenbiologie eingestuft:

#### *Die Boden-Dauerbeobachtung der Länder*

Einige Standort-Gruppen (Untergruppen) innerhalb der BDF sind als Kernstandorte für das Thema Bodenbiologie geeignet:

*Baden-Württemberg (BW-FORS):* Am Standort in Bruchsal werden die Artengemeinschaften der Collembola sowie der Lumbricidae halbjährlich aufgenommen; verschiedene Klimaparameter werden vor Ort gemessen.

*Bayern (LfL):* In 121 in ganz Bayern verteilt gelegenen Flächen werden die Artenspektren der Lumbricidae untersucht; an zwei dieser Standorte finden jährliche Messungen statt.

*Bayern (LfU):* Die vier Standorte, an denen das LfU die Artengemeinschaften der Lumbricidae aufnimmt, liegen in klimatisch unterschiedlichen Regionen (Höhe über NHN: 360-1700 m).

*Schleswig-Holstein:* Die Daten zu den Artenspektren der Enchytraeidae und der Lumbricidae werden in einem Messnetz aus 37 Standorten erhoben, die in ganz Schleswig-Holstein verteilt liegen.

#### *Das biologische Messnetz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg*

Die LUBW betreibt ein Messnetz aus 36 Standorten, die die verschiedenen Naturräume innerhalb des Bundeslandes gut abdecken. An diesen Standorten werden Daten zu den Collembolen-Gemeinschaften erhoben. Darüber hinaus werden in 18 dieser Flächen die Lumbricidae auf Art-niveau untersucht.

### **Fazit**

In den drei beschriebenen Messnetzen, die für das Thema Bodenbiologie geeignet sind, werden sowohl bodenzoologische als auch bodenmikrobiologische Daten erhoben. Dabei werden in einigen Standort-Gruppen ausschließlich die Bodentiere untersucht, in anderen werden nur bodenmikrobiologische Parameter aufgenommen und in manchen werden beide Themengebiete berücksichtigt:

#### *Bodentiere*

- ▶ BDF Bayern (LfL und LfU)
- ▶ biologisches Messnetz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (Baden-Württemberg)

#### *Bodenmikrobiologie*

- ▶ BDF Sachsen-Anhalt, Basis- und Intensiv-BDF
- ▶ BDF Thüringen
- ▶ Biodiversitäts-Exploratorien

#### *Bodentiere und Bodenmikrobiologie*

- ▶ BDF Baden-Württemberg (Fläche BW-FORS)
- ▶ BDF Hamburg
- ▶ BDF Rheinland-Pfalz (Fläche RP-MERZ)

► BDF Schleswig-Holstein

Durch die unterschiedlichen Messnetze werden innerhalb Deutschlands verschiedene Regionen abgedeckt (siehe Abbildung 3). Die BDF wurden in den Bundesländern als deutschlandweites Netzwerk angelegt, wobei nur in sieben Ländern bodenbiologische Untersuchungen durchgeführt werden (s.o.). Das biologische Messnetz der LUBW dagegen existiert nur in Baden-Württemberg, wo jedoch die verschiedenen regionalen Naturräume hinsichtlich der Forststandorte und spezieller Grünlandstandorte gut abgedeckt sind. Allerdings werden in diesem Messnetz bodenzoologische und keine mikrobiologischen Daten erhoben. Im Rahmen der Biodiversitäts-Exploratorien werden in drei Regionen Deutschlands hier näher spezifizierte bodenmikrobiologische Studien durchgeführt; zu den bodenfaunistischen Aufnahmen wurden bisher noch keine detaillierten Angaben zu Messgrößen gemeldet. Durch diese verschiedenen Messaktivitäten liegen flächendeckende Daten aus Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen vor. Hinzu kommen die kleinräumigen Aufnahmen im Rahmen der Biodiversitäts-Exploratorien in Brandenburg sowie eine BDF in Rheinland-Pfalz. In weiten Teilen Deutschlands (u. a. Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Hessen, Saarland) finden keine bodenbiologischen Langzeituntersuchungen statt, die zum jetzigen Zeitpunkt in den Verbund aufgenommen werden könnten.

In den drei Messnetzen werden vorrangig die Nutzungstypen Grünland, Acker und Forst untersucht, wodurch einerseits in Deutschland weit verbreitete Nutzungstypen berücksichtigt werden und andererseits weitere, teilweise besonders klimasensitive Lebensräume (z. B. Moore), deutlich unterrepräsentiert sind (vgl. Statistisches Bundesamt 2019, Wiemers et al. 2013).

**Je nach Fragestellung ist daher das Angebot an bodenbiologischen Erhebungen im Verbund als lückenhaft zu bewerten.**

Trotz des o.g. Defizits existieren die vorgestellten Zeitreihen bodenbiologischer Daten in Verbindung mit umfassenden Begleitgrößen und Standortinformationen. Auch die begrenzte Auswahl an Regionen und Nutzungstypen wird durch den Klimawandel beeinflusst, da für ganz Deutschland Klimaänderungen prognostiziert werden und auch die meistuntersuchten Nutzungstypen hiervon betroffen sind (DWD 2020a, UBA 2020b). Daher lassen sich die vorhandenen bodenbiologischen Untersuchungen für ein Klimafolgen-Bodenmonitoring generell nutzen.

In den für den Verbund gemeldeten und als geeignet bewerteten Messnetzen werden Daten der bodenbiologischen Zielgrößen erhoben, die auf Anfrage auch für externe Datennutzer verfügbar sind. Sie könnten somit auch als Eingangsgrößen oder zur Validierung von Modellen verwendet werden. Bisher sind die Kenntnisse über die Abhängigkeit der Bodenbiozöten von Klimaänderungen sowie von anderen Einflussfaktoren noch äußerst defizitär. Die o.g. Langzeitstudien bieten jedoch die Möglichkeit, Änderungen der Artenspektren, Individuenzahlen oder Aktivitäten von Bodenlebewesen mit verschiedenen Standorteigenschaften, wie beispielsweise dem Klima oder der Bewirtschaftung, in Beziehung zu setzen und zu bewerten. Hierbei kommen verschiedene Auswertungsmethoden zur Anwendung, wie u. a. multivariate statistische Analysen.

Auch könnten auf der Basis der erhobenen Daten Indikatoren entwickelt werden, die eine gezielte Untersuchung von Änderungen der bodenbiologischen Zielgrößen ermöglichen. **Eine grundlegende Voraussetzung, um langfristige Trends der verschiedenen Zielgrößen abzuleiten, sind durchgehende, auch zukünftig durchgeführte Datenerhebungen an den einzelnen Standorten. Daher ist eine Sicherung der Laufzeit der verschiedenen Messprogramme erforderlich.** Im Gegenzug kann die Einrichtung des Verbunds auch als Argumentationshilfe dienen, den langfristigen Betrieb der Messnetze zu gewährleisten.

#### 4.4.3.3 Empfehlungen zur Anpassung und Ergänzung

Wie in Kapitel 4.4.3.2 beschrieben, sind die bisher installierten und für den Messnetzverbund gemeldeten bodenbiologischen Langzeituntersuchungen hinsichtlich der Verteilung der Flächen in Deutschland sowie der untersuchten Zielgrößen als lückenhaft einzustufen. In allen diesen Programmen fehlen z. B. einige Begleitgrößen oder es wurden keine Angaben zum Probenahmedesign gemeldet. Zudem sind die Daten der verschiedenen Messreihen aufgrund der unterschiedlichen Methodik nur sehr eingeschränkt vergleichbar. Aus diesen Gründen ergeben sich für die weitere Arbeit vier notwendige Arbeitsschritte, um die bestehenden Lücken zu schließen:

##### a) **Ergänzung der Programme, die bereits für die Teilnahme am Messnetzverbund für das Thema Bodenbiologie gemeldet worden sind**

Um die Aussagekraft der bodenbiologischen Untersuchungen im Hinblick auf klimawandelbedingte Veränderungen zu verbessern, sollten fehlende Begleitgrößen in die Programme aufgenommen werden. Die genauen Informationen zu den fehlenden Messgrößen sind in Kap. 4.4.3.2 und Anhang B detailliert aufgeführt. Darüber hinaus sollten fehlende Angaben in den Stammdaten und den Informationen zu Messgrößen, wie beispielsweise zum Stichprobendesign (BDF Rheinland-Pfalz [RP-MERZ]), zur Anzahl der Parallel-Messungen bei den Probenahmen (BDF Sachsen-Anhalt [Intensiv- und Basis-BDF], Biodiversitäts-Exploratorien), zu den Probenahmedaten (BDF Bayern LfU, BDF Rheinland-Pfalz [RP-MERZ]) oder zur zukünftigen Sicherung des Dauerbetriebs (Biologisches Messnetz LUBW) ergänzt werden. Zudem ist es sinnvoll, diese Messnetze um weitere, zum aktuellen Zeitpunkt fehlende Zielgrößen zu erweitern.

##### b) **Ergänzung bodenbiologischer Untersuchungen an Standorten, die bisher nicht als Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie gemeldet wurden**

Eine weitere Möglichkeit, bestehende Lücken in den Messreihen zu schließen, besteht darin, bodenbiologische Messungen in weiteren Standort-Gruppen einzurichten. Hierzu eignen sich insbesondere die Messprogramme, in denen in der Vergangenheit bereits bodenbiologische Datenerhebungen stattgefunden haben, wie beispielsweise die BDF einiger Bundesländer (z. B. Brandenburg und Nordrhein-Westfalen). Die Messungen der Zielgrößen in diesen Standort-Gruppen fanden teilweise nur einmalig statt oder die Messungen wurden eingestellt.

Eine erneute Beprobung dieser Flächen hätte den Vorteil, dass bereits Daten aus der Vergangenheit vorliegen, mit denen der aktuelle Bodenzustand verglichen werden könnte.

In einigen Messnetzen sind zukünftige Messungen geplant oder es werden bereits Messungen durchgeführt, die zur Zeit der Standortabfragen noch nicht angegeben wurden. Diese Programme (BDF Niedersachsen, LUCAS Soil, ICP Forests Level II, BZE Wald, Bodenzoologie in Biodiversitäts-Exploratorien, Moorbodenmonitoring Thünen) sollten zukünftig auf ihre Eignung für das Thema Bodenbiologie geprüft werden. Hierzu sollten Details zu den Messgrößen bei den Betreibern der Programme angefragt werden. Bei der NW-FVA sollte für Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Hessen erfragt werden, welche bodenbiologischen Messungen künftig geplant sind.

Auch weitere Monitoring-Programme, in denen bislang keine bodenbiologischen Daten erhoben wurden, könnten bei entsprechender Ergänzung für ein Klimafolgen-Bodenmonitoring geeignet sein. So werden beispielsweise im Naturwaldzellen-Programm in Nordrhein-Westfalen naturnahe Waldbestände erhalten und hinsichtlich ihrer Vegetation, Pilze sowie verschiedener Tiergruppen untersucht (vgl. Schulte 2005, Wald und Holz NRW 2021). Bodenbiologische Langzeiterhebungen im Rahmen eines Klimafolgen-Bodenmonitorings an diesen Standorten hätten den Vorteil, dass hier keine Bewirtschaftungsmaßnahmen erlaubt sind und daher höchstens geringfügige bewirtschaftungsbedingte Änderungen der Boden-Lebensgemeinschaften auftreten.

Generell sollte regelmäßig geprüft werden, ob in den bestehenden sowie in neuen Messprogrammen weitere Standorte eingerichtet werden, die als Verbundstandorte für das Thema Bodenbiologie geeignet sind.

### c) **Verbesserung der Vergleichbarkeit der Messnetze**

Für eine Vergleichbarkeit der Daten ist zu empfehlen, die unterschiedlichen Programme sowohl hinsichtlich der erhobenen Parameter als auch der verwendeten Methodik sukzessive aneinander anzugleichen und zu ergänzen. Hierbei müsste jedoch beachtet werden, dass bestehende Messreihen beibehalten werden, damit die Kontinuität der Datenerhebungen gewährleistet ist. Vorstellbar wären beispielsweise Untersuchungen, inwieweit die mittels unterschiedlicher Methodik erhobenen Daten vergleichbar sind, z. B. durch zeitgleiche Anwendung der unterschiedlichen Vorgehensweisen.

Besonders wichtig für eine Vereinheitlichung der Methodik ist deren Standardisierung. Für einige Bodentiergruppen (z. B. Lumbricidae, Enchytraeidae, Collembola) liegen bereits Methodenstandards vor (ISO 2006a, b, 2007, siehe Tabelle 5), die in den Messprogrammen jedoch nicht einheitlich Anwendung finden. Die bestehenden ISO-Standards lassen Spielräume in der Umsetzung zu, die sich auf die Ergebnisse auswirken können. Die bestehenden Standards sollten daher einheitlich umgesetzt werden, wozu ein intensiver Austausch zwischen den Betreiberinnen und Betreibern der Messnetze notwendig ist. Aufgrund dieser unterschiedlichen Ausgestaltungsmöglichkeiten sollte neben der Angabe der verwendeten Standard-Methodik eine genaue Beschreibung des Probenahmedesigns und der angewendeten Methodik vorliegen.

Darüber hinaus erschwert die Nutzung unterschiedlicher Datenbanken bundesland- bzw. messnetzübergreifende Auswertungen, so dass auch hier geeignete Schnittstellen eingerichtet werden sollten.

### d) **Konzeption eines deutschlandweiten Messnetzes**

Um deutschlandweite Aussagen zu den Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Boden-Lebensgemeinschaften treffen zu können, ist ein umfassendes Konzept notwendig, das die notwendigen Ziel- und Begleitgrößen mit einer einheitlichen Methodik untersucht, die unterschiedlichen Regionen Deutschlands abbildet und von einer übergeordneten Instanz koordiniert wird.

Mit der Boden-Dauerbeobachtung der Länder existiert bereits ein solches Konzept (Barth et al. 2000). Durch die weiträumige Verteilung der fast 900 Flächen in Deutschland werden die in Kapitel 4.4.3.1 genannten Kriterien für die Summe geeigneter Verbundstandorte weitgehend erfüllt, da die verschiedenen biogeografischen Regionen sowie die Klimaräume abgedeckt sind (Huschek et al. 2004). Durch die Untersuchung von Forst, Grünland, Acker und einigen Sonderkulturen werden zudem flächenmäßig häufige Nutzungs- bzw. Biotoptypen berücksichtigt, Ergänzungsbedarf besteht jedoch bei kleinräumigeren, besonders klimasensitiven Biotoptypen wie beispielsweise Mooren. Das Konzept beinhaltet wichtige Ziel- und Begleitgrößen (vgl. Tabelle 5), eine umfassende Standortcharakterisierung sowie Empfehlungen für ein einheitliches Probenahmedesign.

Das UBA führt die Daten anlassbezogen zusammen und hat hierdurch die Möglichkeit, länderübergreifende Auswertungen vorzunehmen.

Für die Durchführung der Untersuchungen sind die einzelnen Bundesländer verantwortlich, was dazu führt, dass das Konzept in den einzelnen Ländern unterschiedlich umgesetzt wird. Dies hat zur Folge, dass das Programm in dieser Form den Anforderungen einer einheitlichen, deutschlandweiten Datenerhebung nicht entspricht. Da das Konzept der BDF jedoch das Potential hat, diese Anforderungen zu erfüllen, ist es sehr zu empfehlen, die Messungen entsprechend den

vorgeschlagenen Methoden flächendeckend umzusetzen. Der Arbeitsaufwand, der den einzelnen Bundesländern hierdurch zusätzlich zu den bereits durchgeführten Maßnahmen entsteht, richtet sich jeweils nach der Anzahl der BDF sowie nach den fehlenden Ziel- und Begleitgrößen. Hinzu kommen notwendige Untersuchungen, die eine Vergleichbarkeit der bisher bestehenden Datenerhebungen prüfen und gewährleisten (s.o.).

Um eine solche Angleichung der länderspezifischen Messprogramme voranzutreiben, bedarf es einer Koordinierung in enger Zusammenarbeit mit den verschiedenen Landesbehörden. Dabei ist es grundlegend wichtig, die Landesbehörden als Betreiber der BDF mit ihrer bodenbiologischen Expertise in die Planungen weiterer Schritte einzubeziehen. Grundsätzliche Fragen zur Datenhoheit sind bei den Überlegungen zur Zusammenarbeit und zum Datenaustausch zu beachten.

Die BZE Wald bietet durch die zentrale Koordinierung des BMEL weiterhin gute Ansätze für die Konzeption eines deutschlandweiten Messnetzes, insbesondere im Hinblick auf die Vereinheitlichung von Methoden und Auswertansätzen.

Seit Beginn des Jahres 2021 besteht das Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMZB) in Leipzig<sup>10</sup>. Diese Außenstelle des BfN wurde eingerichtet, um u. a. das bundesweite Biodiversitätsmonitoring auszubauen, verschiedene Monitoring-Akteure zu vernetzen, Methoden weiterzuentwickeln sowie Informationen zu verschiedenen Monitoring-Programmen bereitzustellen (BfN 2021). Möglichkeiten der Zusammenarbeit im Hinblick auf ein Klimafolgen-Bodenmonitoring für das Thema Bodenbiologie sollten geprüft werden.

Da ein deutschlandweites Monitoring der klimawandelbedingten Änderungen des Bodenzustands von nationalem Interesse ist, sollte zudem diskutiert werden, inwieweit finanzielle Mittel des Bundes eingesetzt werden können, um die Aktivitäten der Länder entsprechend zu ergänzen und anzugleichen.

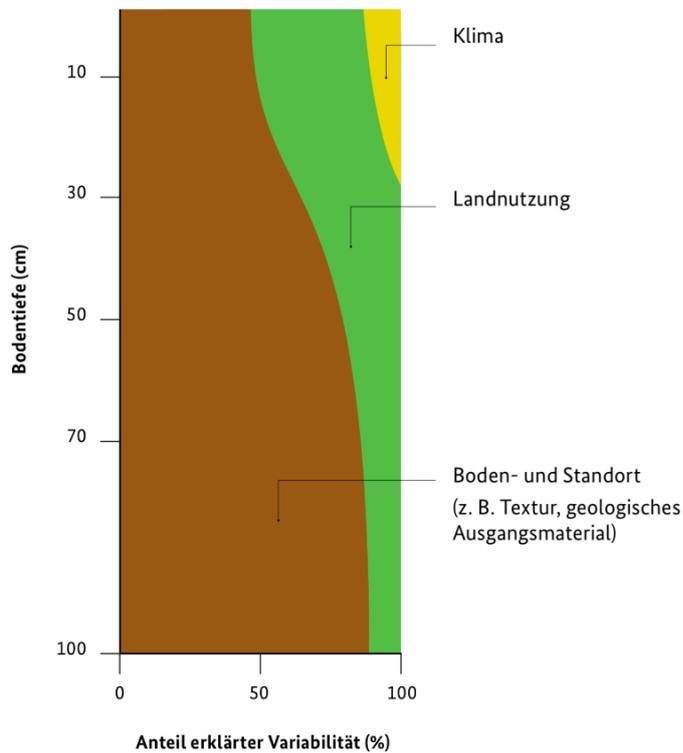
#### **4.4.4 Verbund-Thema organische Bodensubstanz**

Der organische Gesamtkohlenstoff im Boden (SOC) wird von vielen Parametern beeinflusst. Neben Klima, Landnutzung und Bewirtschaftung sind auch abiotische Parameter wie Textur und das Bodenleben als wichtige Einflussfaktoren zu nennen. Sie wirken in komplexen und teilweise noch nicht vollständig verstandenen Zusammenhängen (Stockmann et al. 2013) sowie in Abhängigkeit von der Bodentiefe (Flessa et al. 2019, Abbildung 4). Dabei kann die Persistenz des SOC als das Ergebnis eines komplexen Zusammenwirkens von molekularer Vielfalt der organischen Substanz (aus der Sicht der abbauenden Organismen) sowie der räumlichen Heterogenität und zeitlichen Variabilität ihrer Verfügbarkeit betrachtet werden (Lehmann et al. 2020). Auf der Prozessebene sind dabei Menge und Qualität der eingetragenen organischen Substanz, der partikulären und adsorbierten organischen Substanz sowie der Transport von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) zum Ort einer mikrobiellen Umsetzung von Bedeutung.

---

<sup>10</sup> <https://www.monitoringzentrum.de/>, abgerufen am 22.09.2021

**Abbildung 4: Haupteinflussgrößen auf die Variabilität der Vorräte an organischem Kohlenstoff in Abhängigkeit von der Bodentiefe (Flessa et al. 2019)**



Im Zuge des Klimawandels sind tiefgreifende Auswirkungen auf den Umsatz der organischen Bodensubstanz zu erwarten. Zahlreiche Modellierungsansätze weisen auf einen verstärkten Abbau der organischen Bodensubstanz und einer damit verbundenen SOC-Freisetzung als Folge der prognostizierten Klimaveränderungen hin. So zeigte beispielsweise eine Prognose der SOC-Entwicklung von Ackerböden in Bayern auf Grundlage des Bodenkohlenstoffmodells RothC einen SOC-Verlust von 16 % bis Ende des 21. Jahrhunderts unter der Annahme des A1B-Klimaszenarios und unveränderter Kohlenstoff-Einträge (Wiesmeier et al. 2016). In einer ähnlichen Studie wurde für Deutschland ein Rückgang der SOC-Vorräte von Ackerböden von 10 bis 18 % in Abhängigkeit vom zugrunde liegenden Klimaszenario prognostiziert (Riggers et al. 2021). Aufgrund der Komplexität der an der Bildung der organischen Bodensubstanz beteiligten Prozesse bestehen allerdings große Unsicherheiten hinsichtlich dieser Prognosen.

Insbesondere hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Primärproduktion und des davon abhängigen Eintrags organischer Substanz in Böden bestehen große Unsicherheiten (Wiesmeier et al. 2015, Riggers et al. 2021). Zudem liegen nur begrenzte Erkenntnisse hinsichtlich der Temperatursensitivität der organischen Bodensubstanz bzw. ihrer Komponenten vor (Conant et al. 2011; von Lützwow & Kögel-Knabner 2009).

Untersuchungen von SOC-Veränderungen in Boden-Dauerbeobachtungsflächen unter landwirtschaftlicher Nutzung in Bayern im Zeitraum 1986 bis 2016 weisen darauf hin, dass saisonale Klimaveränderungen, insbesondere eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur im Winterhalbjahr, eine wichtige Rolle hinsichtlich beobachteter SOC-Verluste spielen (Kühnel et al. 2019; 2020). Auch Rumpel et al. (2019) zeigten, dass die Funktionalität der Böden als biologische Senke für CO<sub>2</sub> und damit zur Einlagerung von organischem Kohlenstoff (Sequestrierung) abhängig von der Beständigkeit Kohlenstoff aufbauender Bewirtschaftungsformen ist und auch von der Variabilität des Klimas sowie von dessen langfristigen Änderungen beeinflusst wird.

Im europäischen Raum existieren zahlreiche Studien zu beobachteten SOC-Veränderungen und möglichen Ursachen, die jedoch kein einheitliches Bild zeigten. In den meisten Studien wurden sowohl abnehmende, unveränderte als auch ansteigende SOC-Gehalte bzw. SOC-Vorräte festgestellt (Sleutel et al. 2003, 2007; Bellamy et al. 2005; Lettens et al. 2005; Goidts & van Wesemael 2007; Saby et al. 2008; Meersmans et al. 2009, 2011; Reijneveld et al. 2009; Capriel 2013; Heikkinen et al. 2013; Taghizadeh-Toosi et al. 2014; Puissant et al. 2017; Gubler et al. 2019;). Allerdings bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Untersuchungsgebiete, der klimatischen Verhältnisse, der Länge der Betrachtungszeiträume und der Qualität der zur Verfügung stehenden Bodendaten. Als Hauptursachen für beobachtete SOC-Verluste wurden in den meisten Studien Veränderungen in der Landnutzung oder Bewirtschaftung sowie der initialen SOC-Vorräte/Gehalte aufgeführt. Ein Einfluss des Klimawandels konnte bislang nicht eindeutig belegt werden, wird aber von den meisten Autorinnen und Autoren auch nicht als mögliche Ursache ausgeschlossen.

**Von zentraler Bedeutung für das langfristige Monitoring des Kohlenstoffspeichers ist daher die kontinuierliche Nachverfolgung des SOC mit gleichbleibender Methodik und unter Berücksichtigung der Nutzung.** Vor allem die kurzfristigen Veränderungen (im Zeitraum von 3 bis 5 Jahren), beispielsweise infolge einer Veränderung der Fruchtfolge oder von Bewirtschaftungsumstellungen, spiegeln sich teilweise in hohen Fluktuationsraten wider und erfordern entsprechend angepasste Probenahmestrategien und Analysen (Smith et al. 2020, FAO 2020).

In Zusammenhang mit nationalen und internationalen Initiativen zur Kohlenstoffsequestrierung in Böden werden aktuell weltweit Strategien zum Monitoring, der Berichterstattung und Verifizierung auch sehr kleiner Änderungen des Bodenkohlenstoffvorrats (weiter-)entwickelt. Diese berücksichtigen sowohl Methoden der direkten Messung als auch indirekte Verfahren, in denen über Flussmessungen in Kompartimenten des Kohlenstoffhaushalts auf Vorratsänderungen im Boden geschlossen werden soll (Smith et al. 2020). Im Kontext der hier auf ihre Eignung zum Aufbau eines nationalen Verbundnetzes untersuchten Messprogramme sind zudem Ansätze zur Modellierung des Kohlenstoffhaushalts im Boden im Hinblick auf das Vorliegen entsprechender Modelleingangsgrößen von Interesse.

**Tabelle 6: Einflussfaktoren und relevante Größen für Kohlenstoff**

<b>Einflussfaktoren</b>	<p>Körnung (Ton-, Schluffgehalt), Gefüge, Grobbodenanteil, Lagerungs- und/oder Trockenrohddichte, pH, Gesamtstickstoffgehalt und (initialer) SOC-Gehalt des Bodens, meteorologische Faktoren wie Luft- und Bodentemperatur, Niederschlag, Verdunstung</p> <p>Aktuelle und historische Landnutzung, Bewirtschaftung, Nährstoffversorgung, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Düngung (insbesondere ob mineralisch und/oder organisch gedüngt)</p> <p>Biologische Aktivität</p> <p>Vegetation, Durchwurzelungstiefe und -intensität, Evapotranspiration</p> <p>Grund-/Stauwasser, Drainage</p> <p>Mächtigkeit des Bodens (Gründigkeit)</p> <p>Hangneigung (Erosion), Exposition</p>
<b>Zielgrößen</b>	<p>Gesamtkohlenstoffgehalt (TC)</p> <p>Gehalt des organischen Gesamtkohlenstoffs (SOC)</p> <p>Vorrat des organischen Gesamtkohlenstoffs (für eine bestimmte Mächtigkeit/Horizont oder idealerweise für das ganze Bodenprofil)</p> <p>Gesamtstickstoffgehalt (TN)</p> <p>Qualität der organischen Substanz (z. B. Fraktionen des organischen Kohlenstoffs, C/N-Verhältnis)</p>

<b>Einflussfaktoren</b>	Körnung (Ton-, Schluffgehalt), Gefüge, Grobbodenanteil, Lagerungs- und/oder Trockenrohddichte, pH, Gesamtstickstoffgehalt und (initialer) SOC-Gehalt des Bodens, meteorologische Faktoren wie Luft- und Bodentemperatur, Niederschlag, Verdunstung Aktuelle und historische Landnutzung, Bewirtschaftung, Nährstoffversorgung, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Düngung (insbesondere ob mineralisch und/oder organisch gedüngt) Biologische Aktivität Vegetation, Durchwurzelungstiefe und -intensität, Evapotranspiration Grund-/Stauwasser, Drainage Mächtigkeit des Bodens (Gründigkeit) Hangneigung (Erosion), Exposition
<b>Wirkgrößen (Beispiele)</b>	Ertrag Bodenbiologischer Zustand (z. B. mikrobielle Biomasse, Basalatmung, Indikatorarten) Erodierbarkeit

Als die übergeordneten Ziele eines nationalen Messnetzverbunds zum Monitoring des SOC werden

- ▶ die Überwachung des Einflusses von Klimaänderungen auf **Qualität und Quantität** der organischen Bodensubstanz unter realen Nutzungsbedingungen und
- ▶ die Untersuchung des Einflusses der unter den Bedingungen des Klimawandels angepassten **Bewirtschaftung** auf Qualität und Quantität der organischen Bodensubstanz

angesehen. Die für die Teilnahme am Verbund gemeldeten Messprogramme und Messstandorte wurden daraufhin untersucht, inwiefern sie als Bestandteil eines Messnetzverbunds einen Beitrag zur Verfolgung der Ziele leisten können.

Auswertungsansätze sind Zeitreihenanalysen zum SOC-Gehalt und -Vorrat sowie die Verteilung von organischen Kohlenstofffraktionen unter Berücksichtigung von Landnutzungs- und Bewirtschaftungseinflüssen, Bodeneigenschaften und Klimafaktoren. Diese sollen Aussagen über die Funktionserfüllung des Bodens als biologische Kohlenstoffsенке, über Ertragsbildung (natürliche Bodenfruchtbarkeit) und C-Sequestrierung und klimawandelbedingte Auswirkungen auf die Stabilität ermöglichen.

In Tabelle 6 sind die relevanten Einflussfaktoren, die Zielgrößen sowie Beispiele möglicher Wirkgrößen für das Thema organische Bodensubstanz aufgeführt.

#### 4.4.4.1 Anforderungen an die Datenerhebung

Die Beobachtung und Bewertung von Veränderungen des Bodenkohlenstoffs erfordert neben der obligatorischen Erfassung der Zielgrößen die regelmäßige Aufnahme und systematische Dokumentation weiterer Begleitgrößen (siehe Tabelle 7).

Messprogramme und -standorte kommen prinzipiell als Bestandteile des Verbunds für das Thema organische Bodensubstanz in Frage, wenn die Zielgrößen Gehalt des organischen Gesamtkohlenstoffs (SOC), Gesamtkohlenstoff (TC) und Gesamtstickstoff (TN) erfasst werden. Sie wurden daher näher auf ihre Eignung überprüft. Wird zudem die Bestimmung des Vorrats des organischen Kohlenstoffs (SOC-Vorrat) angegeben, ist dies ein zusätzliches Qualitätsmerkmal. Fehlende Einträge zum SOC-Vorrat in den von den Daten erhebenden Stellen übermittelten Angaben zu Messgrößen waren kein Ausschlusskriterium für die Eignung eines Messprogramms oder Standortes.

Für die Berechnung des SOC-Vorrats sind das Volumen und die Masse des Feinbodens einer Probe, ihr Grobbodenanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Tiefenstufe bzw. des Horizonts, die bzw. der durch die Probe repräsentiert wird, erforderlich. Daher wurden die Angaben zum Umfang der Messung bodenphysikalischer Begleitgrößen auf die Erfassung der Trockenrohddichte und des volumetrischen Grobbodenanteils sowie die Angabe der Beprobungstiefen hin überprüft.

Kommt bei der Ermittlung der SOC-Vorräte der Equivalent-Soil-Mass-Ansatz (z. B. Ellert & Bettany 1995, Wendt & Hauser 2013, Upson, Burgess & Morison 2016, Poeplau et al. 2017) zur Anwendung, wurde dies positiv bewertet, da nur so die Vergleichbarkeit von SOC-Vorräten über verschiedene Tiefenstufen/Horizonte, Landnutzungsformen und Bodenbearbeitungsformen hinweg sichergestellt ist.

In einem Messnetzverbund sollten die Standorte zudem hinsichtlich der Messmethoden vergleichbar sein. Für die Bestimmung des TC ist die Elementaranalyse durch trockene Verbrennung das Standardverfahren, das in allen beteiligten Programmen zur Anwendung kommen sollte. Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in carbonathaltigen Böden (pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ )  $\geq 6,2$ ) erfolgt sowohl zwischen als auch innerhalb der einzelnen Programme nach verschiedenen, jedoch gleichwertigen Verfahren.

Als qualitatives Bewertungsmerkmal wurden vorliegende Informationen darüber berücksichtigt, ob in einem Messprogramm oder an Standorten regelmäßig Messungen zur Bestimmung der Qualität der organischen Substanz durchgeführt werden.

Der statistisch gesicherte Nachweis von Veränderungen der SOC-Gehalte und -Vorräte stellt konkrete Anforderungen an die Repräsentativität, die Probenahmehäufigkeit, die Beprobungstiefe, den Beprobungszeitpunkt und die Probenaufbereitung.

Die Bewertung der **Repräsentativität** eines Messprogramms steht in Beziehung zum Untersuchungsraum, für den Aussagen getroffen werden sollen. Es ist anzunehmen, dass innerhalb der Messprogramme die Repräsentativität der Probenahme an den einzelnen Messstandorten, bezogen auf die von ihnen repräsentierte Raumeinheit (z. B. Bodenform, Naturraum), in der Regel gegeben ist. Demnach kann eine Einordnung der Messprogramme hinsichtlich der räumlichen Abdeckung in den Grenzen der Bundesrepublik Deutschland bezogen auf Landschaften, Naturräume, Klimaräume, Nutzungen usw. erfolgen. Die Nichtrepräsentativität der Messprogramme (d. h. die Summe der geeigneten Standorte eines Messprogramms), bezogen auf mögliche Untersuchungsräume, ist dabei kein Ausschlusskriterium für die Eignung des betreffenden Programms für den Messnetzverbund.

Von größerer Bedeutung für die Eignungsprüfung waren die **Probenahmehäufigkeit und die Beprobungstiefe**. Um Änderungen des SOC-Vorrats sicher nachzuweisen, ist nach Smith et al. (2020) ein Zeitraum von etwa acht Jahren anzusetzen. Die FAO (2020) erachtet einen zeitlichen Messabstand zwischen vier und acht Jahren als sinnvoll, um kurzfristige nutzungsbedingte Schwankungen von einer langfristigen Anreicherung im C-Vorrat sicher abgrenzen zu können.

Daneben konnten Leifeld et al. (2011) und Gubler et al. (2019) zeigen, dass auch jährliche Veränderungen des SOC-Gehalts im Bereich von 0,4 % analytisch bei entsprechend hohem Messaufwand nachweisbar sind.

In Ackerböden muss die Beprobungstiefe im Regelfall den gesamten Ap-Horizont umfassen, da es sonst bei einer Umstellung der Bearbeitungstiefe (insbesondere zu reduzierter Bearbeitungstiefe) zu Fehlinterpretationen kommt. Veränderungen des Kohlenstoffs lassen sich im Oberboden am schnellsten nachvollziehen, sind jedoch nicht auf diesen beschränkt. Im Unterboden wird mehr als die Hälfte der globalen SOC-Vorräte gespeichert (Rumpel & Kögel-Knabner 2011,

Wordell-Dietrich et al. 2017, Lorenz & Lal 2018, Jacobs et al. 2020), zudem hat dieser häufig eine hohe Verweilzeit. Die Wirkung höherer SOC-Gehalte im Unterboden ist teils noch nicht erforscht, so dass Messstandorte mit Beprobungstiefen bis in den Unterboden für die Untersuchung diesbezüglicher Fragestellungen interessant sind. Als Eignungskriterium wurde zudem überprüft, inwieweit eine horizont- und/oder tiefenstufenbezogene Beprobung erfolgt und ob diesbezüglich eine Kontinuität in der Messreihe vorliegt (möglichst kein Wechsel zwischen beiden Systemen).

Der **Beprobungszeitpunkt** wurde, wenn angegeben, als ein Qualitätsmerkmal berücksichtigt, da die Beprobung stets im gleichen Zeitraum, idealerweise vor der ersten Düngung erfolgen sollte. Ist dies nicht möglich, muss ein längerer Zeitraum nach der Düngung eingehalten werden. Die mikrobielle Aktivität sollte zum Beprobungszeitpunkt möglichst gering sein (FAO 2020). Erfolgt die Beprobung von Ackerböden nach einer Bodenbearbeitung, sollte ein ausreichender zeitlicher Puffer eingeplant werden, da sonst die Bestimmung der Trockenrohddichte fehlerhaft ist.

Bei der **Probenaufbereitung** sind das Entfernen von Wurzeln, Holz und Streu, das Sieben auf Korngröße < 2 mm sowie das Homogenisieren der Probe wichtige Arbeitsschritte. Lagen Angaben dazu vor, wurden diese qualitativ in die Eignungsbewertung einbezogen.

Messprogramme bzw. Standorte eignen sich in besonderem Maß für das Verbundmessnetz, wenn sowohl die Erfassung der SOC-Vorräte als auch der notwendigen Begleitgrößen (insbes. Klima, Bewirtschaftung) lückenlos erfolgt. In diesem Fall werden diese Standorte als **Kernstandorte bzw. -programme** definiert. Verfügen diese zusätzlich noch über lange Zeitreihen (> 3 Messzeitpunkte) mit einer hohen zeitlichen Auflösung (Messintervall ≤ 10 Jahre) und/oder Erhebungen bis in mindestens 30 cm Tiefe, sind dies zusätzliche Qualitätsmerkmale. Gleiches gilt für einen themenübergreifenden Ansatz (z. B. Miterfassung bodenbiologischer Messgrößen).

Um die Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung und möglicher Landnutzungsänderungen nachvollziehen zu können, müssen entsprechende (z. T. sehr detaillierte) **Zusatzinformationen** zu z. B. Art und Tiefe der Bodenbearbeitung, Haupt- und Zwischenfrüchten, Ertrag, Düngung und meliorativen Maßnahmen vorliegen (vgl. Tabelle 7). Informationsumfang, Art der Dokumentation und die Häufigkeit der Erfassung wurden bei der Eignungsbewertung als Kriterien herangezogen.

Die Erfassung von **Klimadaten** mit standortbezogenen Klima-Messstationen oder der aufwändigen Eddy-Kovarianz-Technik wurde bei der Eignungsbewertung als Qualitätsmerkmal ausgewertet. Grundsätzlich können allen Standorten Daten von 1 × 1-km-Hydromet-Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2020) zugewiesen werden, so dass Auswertungen auf Grundlage homogener Klimadaten möglich sind. Das Fehlen von Messstationen ist daher kein Ausschlusskriterium für die Eignung. Die Eddy-Kovarianz-Technik wird zudem ausschließlich an ICOS-Standorten verwendet.

Um die Vergleichbarkeit von Messdaten und ihre Eignung zur Beobachtung von signifikanten Änderungen des SOC (Gehalt, Vorrat) prüfen zu können, benötigen Datennutzer daher mindestens Angaben zu den oben kurz beschriebenen und nachfolgend zusammenfassend aufgeführten Parametern (siehe auch Tabelle 6 und Tabelle 7):

- a) Zielgrößen
- b) Bodenphysikalische Begleitgrößen (z. B. Trockenrohddichte, Grobbodenanteil)
- c) Methoden zur Ermittlung der Ziel- und Begleitgrößen
- d) Probenahmehäufigkeit, Beprobungszeitpunkt, Beprobungstiefe

- e) Probenaufbereitung
- f) Bodenbewirtschaftung, Landnutzung
- g) Erfassung von Klimadaten

**Tabelle 7: Qualitätskriterien des Verbunds für das Thema organische Bodensubstanz**

Kriterium	Angabe
Erfasste Zielgrößen	siehe Tabelle 6
Erfasste Begleitgrößen	<p><u>obligatorisch:</u>                      Standortcharakteristika, z. B. Höhenlage, Ausgangsgestein, Bodenart                      Carbonatgehalt (TIC)                      Trockenrohdichte                      Grobbodenanteil                      Boden-pH-Wert                      Grundwasserstand (Grundwassermessstelle und Zeitreihen zu Grundwasserständen an Feuchtstandorten)</p> <p><u>wünschenswert:</u>                      Korngrößenverteilung                      Bodentemperatur                      Gefüge                      Gesamtstickstoffgehalt (TN)                      C/N-Verhältnis                      Mikrobielle Biomasse</p>
Erfasste Bewirtschaftungs-Parameter	<p><u>obligatorisch:</u>                      Bewirtschaftungsart                      Vorfrucht                      Fruchtart (Hauptkultur) oder Hauptbaumart                      Zwischenfrucht                      Ertrag                      Bodenbearbeitung (Art und Tiefe)                      Düngung                      Kalkung                      Schnitthäufigkeit (Grünland)                      Viehbesatz (Grünland)</p>
Art der Bewirtschaftungs-Dokumentation und zeitliche Auflösung, Turnus der Abfrage von Änderungen	Fortlaufende Dokumentation der Nutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte (Insbesondere Größen wie Düngung, Bodenbearbeitung, Kultur und Ertrag, Vornutzung, Nutzungswechsel, Veränderung der Bodenbearbeitungstiefe Ereignisse von Erosion / Deposition; z. B. mithilfe von Schlagkarteien, Aufnahmeblätter, Luftbildern)
Erfasste Klima-Parameter	<p><u>obligatorisch:</u>                      Niederschlagsmenge                      Lufttemperatur                      Klimatische Wasserbilanz</p> <p><u>mindestens:</u> Monatswerte                      idealerweise: Tageswerte                      (seit Beginn der Boden-Untersuchungen)</p>
Art der Klimadaten für den Standort mit Angaben zu Messort und Datenquelle	<p>Mögliche Quellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DWD-Klimadaten im 1 × 1 km-Raster für ganz D (Hydromet),</li> <li>- gemessen an der Station</li> <li>- an einer für den Standort repräsentativen Klimastation</li> </ul>

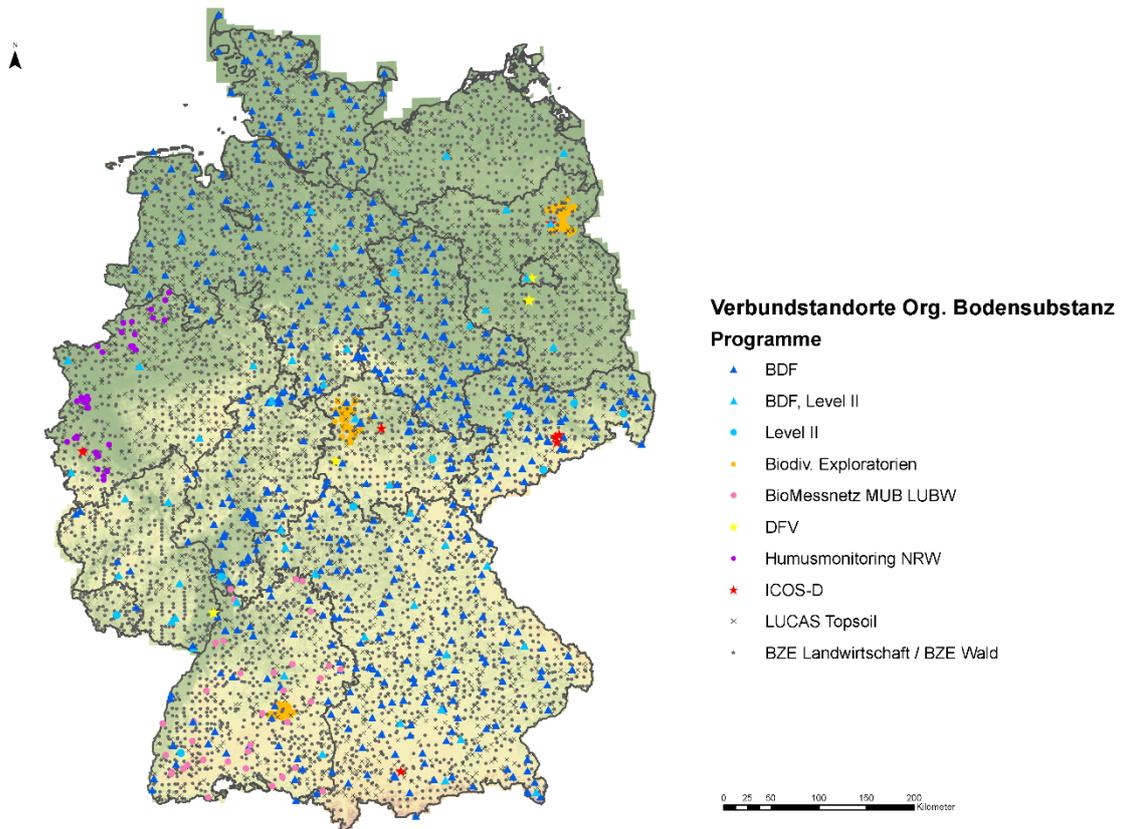
Kriterium	Angabe
Rückstellproben vorhanden? mit Angaben zu Zeitpunkten	obligatorisch
Messhäufigkeit / Turnus	<u>Forschung/Intensivmonitoring:</u> mindestens alle 10 Jahre <u>Extensivmonitoring:</u> mindestens alle 15 Jahre
Termine der Messungen	obligatorisch
Messbeginn der Messgröße (Jahr)	obligatorisch
Methoden	<u>Gehalt des organischen Kohlenstoffs:</u> DIN ISO 10694 DIN EN 15936 <u>Gesamtstickstoffgehalt:</u> DIN ISO 13878 <u>Gesamtkohlenstoffgehalt:</u> DIN ISO 10694 DIN EN 15936 <u>Qualität der organischen Substanz:</u> Fraktionierung; Infrarotspektrometrie, ermöglicht Ableitung von Fraktionen, hoher Durchsatz (z. B. bei BZE wegen vieler Messstellen); Temperaturrampe / RockEval / Thermogravimetrie
Unsicherheiten (optional)	wünschenswert
Mess- oder Entnahme- bzw. Bezugstiefe(n)	<u>obligatorisch:</u> Entnahmetiefen sowie Angaben zur Streu-/Bodenschicht
Proben-/Mess-Schema vertikal	obligatorisch
Art der Proben (Einzelproben, Mischproben)	obligatorisch <u>wünschenswert:</u> Mindest-Anzahl von Probenahmepunkten pro Untersuchungsfläche und Angabe der Flächengröße
Parameterspezifische Proben- vorbehandlung	Sieben 2 mm und Trocknung bei +40 °C; Angabe von Wägung und Wurzeln optional
Details der Messmethode	Details zu Parametern der Qualität der organischen Substanz sind bekannt

#### 4.4.4.2 Geeignete Programme und Standorte

Von den für eine Verbundteilnahme gemeldeten Messprogrammen (vgl. Kapitel 4.3) werden die auf Lysimeter-Standorten basierenden Programme (Feldlysimeter Britz/Colbitz und TERENO SoilCan) sowie die bodenbezogenen Aktivitäten des Deutschen Wetterdienstes (Agrarmeteorologische Modellierung und Bodenfeuchte) im Folgenden nicht weiter betrachtet, da dort keine regelmäßige Entnahme von Bodenproben erfolgt.

In allen verbleibenden Messprogrammen werden die Zielgrößen TC und SOC durchgehend gemessen und die wichtigsten in Kapitel 4.4.4.1 benannten Begleitgrößen erhoben. Die als Verbundstandorte für das Thema organische Bodensubstanz geeigneten Untersuchungsflächen sind in Abbildung 5 dargestellt.

**Abbildung 5: Verbundstandorte für das Thema organische Bodensubstanz**



Hinweise: Da die Fortführung des Humusmonitoringprogramms in Bayern erst gegen Ende des laufenden Vorhabens bestätigt wurde, war es nicht mehr möglich, die 347 Standorte in die Projektdatenbank aufzunehmen (nicht in der Karte dargestellt).

SOC-Vorräte werden in den Programmen BZE Wald und BZE Landwirtschaft, im Rahmen des Humusmonitoring NRW und der Biodiversitäts-Exploratorien standardmäßig für alle Messstandorte ermittelt. Darüber hinaus geben Standorte der Boden-Dauerbeobachtung und des Level II-Programms die Ermittlung des Kohlenstoffvorrats an. Die grundlegenden Parameter zu dessen Berechnung (SOC, Trockenrohddichte, Grobbodenanteil) stehen ebenfalls für viele weitere Standorte zur Verfügung.

Die Messung des TC erfolgt einheitlich mittels Elementaranalyse. Unterschiede bestehen zwischen den Programmen und Standorten bezüglich der Aufschluss- und Messverfahren zur Bestimmung des Carbonatgehalts (TIC), bei der Probenahmehäufigkeit, den Beprobungstiefen, der Probenaufbereitung, der Dokumentation zur Bodenbewirtschaftung und der Erfassung von Klimadaten.

Erwartungsgemäß werden aufgrund unterschiedlicher Zielsetzungen in keinem Messprogramm alle in Kapitel 4.4.4.1 als obligatorisch aufgeführten Ziel- und Begleitgrößen gemessen und alle Qualitätskriterien vollständig erfüllt.

## Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Mit den 616 Standorten der Boden-Dauerbeobachtungsprogramme auf Ebene der Bundesländer<sup>11</sup>, welche Zielgrößen für das Thema organische Bodensubstanz gemeldet haben<sup>12</sup>, werden die Landnutzungsarten Acker (n=317), Forst<sup>13</sup> (n=150), Grünland<sup>14</sup> (n=123), Sonstige Nutzung (n=24) und Moore (n=2) abgedeckt. Die Kategorie „Sonstige Nutzung“ umfasst Standorte unterschiedlicher Nutzungsart, z. B. Weinbau, Parks, Sukzessionsfläche, Baumschule, mit Gehölzen oder unbewirtschaftete Wiesen in Naturschutzgebieten. Die zwei BDF der Landnutzungsart „Moore“ werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) betrieben.

Eine bundesweite Flächenrepräsentativität hinsichtlich der Nutzungen ist nicht gegeben, da die Bundesländer diesbezüglich an ihre Situation angepasste Schwerpunkte setzen. Beispielsweise werden im waldreichen Rheinland-Pfalz (42 % der Landesfläche sind Wald) ausschließlich Forststandorte untersucht, während in Sachsen mit 55 % Landesfläche unter landwirtschaftlicher Nutzung keine Forst-BDF angelegt sind.

An allen Standorten werden laut den von den Betreiberinnen und Betreibern gemeldeten Informationen SOC- und TN-Gehalte gemessen. Die Bestimmung von SOC-Vorräten (als Parameter gemeldet) erfolgt an insgesamt 124 BDF in Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bayern (ab 2020/21), Rheinland-Pfalz und Hessen. In Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz werden damit an allen der 70 bzw. 16 BDF des Landes SOC-Vorräte ermittelt. Von den sachsen-anhaltischen BDF lässt sich allerdings auf Grundlage der Meldung durch die Betreiberinnen und Betreiber nur für 13 BDF ermitteln, dass mindestens drei Messungen vorliegen.

Nordrhein-Westfalen hat mit dem Humusmonitoring NRW ein eigenes Messprogramm aufgelegt, das sich ausschließlich Fragen zu Änderungen der SOC-Gehalte und -Vorräte widmet. In Bayern wird neben dem Boden-Dauerbeobachtungsprogramm ebenfalls ein Humusmonitoring betrieben (siehe Humusmonitoring NRW und Bayern in diesem Kapitel).

Auch an 374 weiteren BDF-Standorten erfolgt die Messung der Trockenrohddichte und des Grobbodenanteils in den jeweiligen Messintervallen (s.u.). Nicht gemessen werden diese Parameter laut den von den Betreiberinnen und Betreibern gemeldeten Informationen für die Acker- und Grünland-BDF Brandenburgs, die BDF Hamburgs sowie des Saarlands. An den BDF in Sachsen und Nordrhein-Westfalen wurden Trockenrohddichten nur bei der Erstaufnahme bestimmt. Der Grobbodenanteil liegt für die hessischen, niedersächsischen, nordrhein-westfälischen und sächsischen BDF ebenfalls lediglich aus der Erstaufnahme vor. Grobbodenanteile wurden auf Acker- und Grünland-BDF Thüringens einmalig erhoben, die Messung der Trockenrohddichten erfolgt auf diesen Flächen unregelmäßig. An den bayerischen Standorten ohne explizite Nennung der SOC-Vorratsbestimmung werden zwar Trockenrohddichten bestimmt, es liegen jedoch keine Angaben zum Grobbodenanteil vor. In Niedersachsen wird die Trockenrohddichte alle zehn Jahre gemessen, während das Messintervall für organischen Kohlenstoff bei vier Jahren liegt (s.u.).

Zu den vierjährigen Zwischeninventuren wird dort nach Auskunft des Messnetz-Betreibers geprüft, ob es bei unveränderter Horizontmächtigkeit zulässig ist, die zur Hauptinventur gemessenen Trockenrohddichten zu übertragen. Die SOC-Vorratsberechnung beruht dann nicht auf zum Zeitpunkt der Probenahme für die SOC-Bestimmung gemessenen Werten der Trockenrohddichte. Für Datennutzerinnen und -nutzer wären diesbezügliche Unterschiede in der Datenqualität aufgrund fehlender Parameterkennzeichnung zurzeit nicht zu erkennen.

---

<sup>11</sup> Flächen liegen in allen Bundesländern (Ausnahme: Hansestadt Bremen).

<sup>12</sup> Daneben wurden weitere BDF für den Verbund gemeldet.

<sup>13</sup> Darunter 3 Moorböden (Niedermoor, Erniedermoor, Normhochmoor).

<sup>14</sup> Darunter 16 Moorböden (überwiegend Erd- oder Mulmniedermoor).

Hinsichtlich der Messintervalle für die Kohlenstoff-Zielgrößen bestehen zwischen den Länderprogrammen große Unterschiede, die von 2 bis 3 Jahre (in Brandenburg oder Schleswig-Holstein) bis 20 Jahre (im Saarland) reichen (vgl. Anhang C und Abschnitt 10 in Anhang F). Die Messintervalle der BDF anderer Bundesländer liegen mit 3, 5 oder 10 Jahren zwischen diesen Zeitspannen. Viele Forst-Standorte werden im Intervall von 10 bis 20 Jahren beprobt.

An den BDF, wo SOC-Vorräte oder die dafür erforderlichen Einzelparameter bestimmt werden, geschieht dies im Abstand von 3 bis 5 (Bayern, Schleswig-Holstein) bzw. 10 Jahren (Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Niedersachsen, Hessen, Baden-Württemberg).

Das vertikale Beprobungsschema orientiert sich bei den BDF mit Bestimmung der SOC-Vorräte an Tiefenstufen (Niedersachsen, Hessen, Landwirtschaft in Bayern) bzw. Horizontgrenzen (Forst). Die sachsen-anhaltischen Standorte werden teils horizontbezogen, teils durchgehend tiefenstufenbezogen beprobt, an knapp einem Drittel erfolgte jedoch ein Wechsel zwischen den Schemata. Die Beprobungstiefen der Erstaufnahme reichen bei allen Standorten mit SOC-Vorratsberechnung bis in den Unterboden (mindestens 60 cm und tiefer), bei den Wiederholungen wurden in Sachsen-Anhalt teilweise nur Oberböden beprobt. Für die sächsischen BDF wurden keine Angaben zum Beprobungsschema und zu Entnahmetiefen übermittelt. Auch für die BDF ohne SOC-Vorratsbestimmung besteht kein einheitliches Bild hinsichtlich des vertikalen Beprobungsschemas.

Für 130 BDF erfolgen keine Aufzeichnungen zur Bewirtschaftung oder es liegen keine Angaben dazu vor. An den anderen kann auf Bewirtschaftungsdaten zurückgegriffen werden, wobei überwiegend Erträge, Hauptkulturen und Zwischenfrüchte sowie die Bewirtschaftungsart erfasst werden. Die Informationen gehen meist aus Feldbuch- oder Schlagkarteieinträgen hervor bzw. aus Befragungen der Bewirtschafter. Die Erfassung erfolgt in der Regel jährlich. Zu technischen Details der Haltung von Bewirtschaftungsdaten der BDF in den einzelnen Bundesländern und deren Verfügbarkeit für Datenanfragende wurden keine Informationen angefragt.

86 BDF können auf am Standort gemessene Klimadaten zurückgreifen, für 154 BDF ist angegeben, dass das DWD-Raster genutzt wird, 376 erfassen keine Klimaparameter oder haben diesbezüglich nichts gemeldet. Auch 102 der 124 BDF, an denen SOC-Vorräte bestimmt werden, haben zu Klimadaten keine Angaben gemacht. Für diese Standorte stehen stets die Daten des DWD-Rasters zur Verfügung (DWD 2020).

Die Überprüfung der BDF auf ihre Eignung für das Verbundthema organische Bodensubstanz ergibt ein heterogenes Bild, sowohl was die Erhebung der für die Beobachtung des SOC erforderlichen Zielgrößen angeht als auch hinsichtlich der erfassten Begleitgrößen und der Erfüllung der in Kapitel 4.4.4.1 beschriebenen Mindestanforderungen an die Datenerhebung.

Die 124 BDF mit Erfassung des SOC-Vorrats sind mit Blick auf die gemeldeten Zielgrößen und gemessenen Parameter grundsätzlich als Verbundstandorte für das Thema organische Bodensubstanz geeignet. Hinzu kommen 374 Standorte, an denen die zur Bestimmung des SOC-Vorrats zusätzlich zu den SOC-Gehalten erforderlichen Parameter Trockenrohdichte und Grobbodenanteil gemessen oder in einer Form bestimmt werden, die eine zuverlässige Berechnung der SOC-Vorräte ermöglicht und deren Vergleichbarkeit sicherstellt. In Summe erfolgt an 498 der 616 für das Thema organische Bodensubstanz gemeldeten BDF eine SOC-Vorratsermittlung oder eine solche ist möglich. An einzelnen Standorten werden dafür jedoch nur Oberbodenproben gewonnen oder es fehlen Angaben zur Beprobungstiefe. Während die Analyseverfahren zur Bestimmung des TC und des SOC-Gehalts die Standards erfüllen, fehlen Informationen zur Eignungsprüfung auf standort- und zeitübergreifende Vergleichbarkeit von SOC-Vorräten, da die Methoden zur Vorratsermittlung nicht näher beschrieben sind.

Von Bedeutung ist hier beispielsweise die Kennzeichnung der Methode zur Ermittlung von Trockenrohdichten und Grobbodenanteilen. An 33 der 498 BDF wird in einem Messintervall von 10 bis 20 Jahren beprobt. An 15 Standorten in Sachsen-Anhalt erfolgt die Beprobung unregelmäßig, dennoch liegen bei einigen dieser Flächen Daten von mindestens drei Messungen vor. Bei 66 hessischen BDF fehlen Angaben zu Bewirtschaftungsdaten.

In der Gesamtschau erweisen sich nach der Eignungsprüfung 432 BDF mit Erfassung der Parameter zur Berechnung des SOC-Vorrats für ein Verbundmessnetz für das Thema organische Bodensubstanz als geeignet. Dies sind mehr als zwei Drittel der insgesamt für dieses Thema gemeldeten BDF. Mindestens drei Messtermine liegen für 419 BDF vor; abzüglich der 66 ohne Bewirtschaftungsdaten verbleiben 353 Standorte. Nach Klärung der offenen Fragen zu den Beprobungstiefen und der Dokumentation der Bestimmungsmethoden für die Trockenrohdichten und Grobbodenanteilen zu den jeweiligen Messterminen kommen diese 353 BDF als Kernstandorte mit einer besonders guten Eignung des Messnetzes für das Thema organische Bodensubstanz in Frage. Zusätzlich wünschenswert wäre für 242 dieser Standorte ein Messintervall von weniger als 10 Jahren (im Idealfall 3 bis 5 Jahre). Auch die BDF in Hessen wären bei Vorliegen von Informationen zur Bewirtschaftung als Kernstandorte geeignet, wodurch sich die Zahl der Kernstandorte auf 419 erhöhen würde.

### **ICP Forests Level II**

An 66 der 76 gemeldeten und repräsentativ auf den am häufigsten vorkommenden Waldstandorten über das gesamte Bundesgebiet verteilten ICP-Forests-Level II-Flächen wurde die Messung des SOC-Gehalts angegeben. 53 dieser Standorte des Level II-Programms sind auch Bestandteil der Boden-Dauerbeobachtung der Länder. Davon melden 23 die Bestimmung des SOC-Vorrats. An fast allen Level-II-Standorten werden jedoch mit Trockenrohdichte und Grobbodenanteil auch die Parameter für die Ermittlung des SOC-Vorrats aufgenommen. An zwei thüringischen und vier nordrhein-westfälischen Messstellen wurde die Trockenrohdichte lediglich bei der Erstaufnahme erfasst, an allen anderen stets im jeweiligen Messintervall (s.u.).

Verbindliche Arbeitsgrundlage ist das Methodenhandbuch des ICP Forests Manual in der zum Zeitpunkt der Aufnahme jeweils aktuellen Fassung (zzt. aktuelle Fassung: ICP Forests 2016).

Die Probenahme erfolgt in der Regel nach einem tiefenstufenbezogenen Schema, auf neun Standorten horizontbezogen. Es werden stets Proben bis in mindestens 100 cm Tiefe gewonnen.

Messdaten werden im Programm für Messintervalle von 10 bis 20 Jahren erhoben, dabei liegt die Erstaufnahme von einzelnen Standorten in Niedersachsen, Hessen und Baden-Württemberg bereits in den 1980er Jahren und früher. Für letztere Standorte sollten bei Datenanfragen aufgrund der technischen Entwicklung von Analyseverfahren die angewendeten Methoden und Messergebnisse auf Vergleichbarkeit überprüft werden. Angaben darüber, inwieweit innerhalb der vergleichsweise langen Laufzeit qualitätsgesicherte Umstellungen von Messverfahren stattgefunden haben, wurden nicht dokumentiert.

Für 56 Standorte des ICP Forests-Level II-Programms gibt es Daten aus mindestens drei Messzyklen (Messbeginn vor 2000). Auf allen Standorten werden mit Angaben zur Vornutzung, aktuellem Baumbestand, Angaben zu Kalkungen usw. umfangreiche Daten zur Bewirtschaftung erfasst.

Das ICP Forests-Level II-Programm ist daher als Bestandteil eines bundesweiten Verbundmessnetzes für das Thema organische Bodensubstanz geeignet.

### **Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung**

An allen der rund 300 Standorte des Verbunds der Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung werden die Zielparameter TC, TN sowie SOC-Gehalt und SOC-Vorrat mit den erforderlichen Begleitparametern erhoben. Es werden die Nutzungen intensives und extensives Grünland sowie Wirtschafts- und Naturwald abgedeckt. Die Erfassung aller Messdaten sowie umfangreicher Begleitdaten auch zur Bewirtschaftung erfolgt qualitätsgesichert in der Projektdatenbank BExIS. Mit eigenen Klimastationen je Experimentierplot, einem Messintervall von drei Jahren und der Erfassung von bodenbiologischen Zielgrößen (vgl. 6.3.2) besitzen die Biodiversitäts-Exploratorien ein hohes Eignungspotenzial für die Beobachtung von SOC-Änderung auf Grünland- und Forststandorten. Mit der Erhebung der bodenchemischen und -physikalischen Parameter ausschließlich in einer Tiefe von 0 bis 10 cm können Klima-, Landnutzungs- und Boden-/Standort-Effekte auf SOC-Vorräte untersucht werden. Prozesse im Unterboden lassen sich dagegen nicht beobachten.

Als Teil eines Messnetzverbunds zur Beobachtung des SOC im Klimawandel sind die Biodiversitäts-Exploratorien aufgrund ihres repräsentativen, systematischen und grundsätzlich themenübergreifenden Ansatzes für ein intensives Monitoring und als Kernstandorte geeignet. Geringfügige Einschränkungen bestehen hinsichtlich der abgedeckten Bodentiefen.

### **Biologisches Messnetz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg**

Im Biologischen Messnetz der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg werden auf Waldflächen mit Naturverjüngung und Grünland in den Nutzungsvarianten Mähweide und Wiese neben einer Vielzahl ökologischer Parameter auch Zielparameter für die Beobachtung des SOC erhoben. Gemeldet wurden TC, TN und TIC. In der ersten Detailuntersuchung im Jahr 1994 wurde eine Vielzahl bodenphysikalischer und bodenchemischer Parameter zur Standortcharakterisierung erfasst, u. a. Trockenrohdichte, Porengrößenverteilung und Kationenaustauschkapazität. Das Messintervall der Zielgrößen beträgt 4 Jahre, im Oberboden und der organischen Auflage sind die Abstände kürzer. Im vierjährigen Messintervall werden auch die für die SOC-Vorratsermittlung relevanten Größen Trockenrohdichte und Grobbodenanteil gemessen. Die für die Ermittlung von Parametern zur Beobachtung des SOC gezogenen Proben werden in der Regel aus dem Oberboden gewonnen, in größeren unregelmäßigen Zeitabständen auch aus dem Unterboden. Das vertikale Beprobungsschema (tiefenstufen- und/oder horizontbezogen) variiert je nach Parameter; genauere Angaben (welches Schema bei welchem Parameter) stehen jedoch nicht zur Verfügung.

Es liegen detaillierte Angaben zur Vegetation vor. Hinsichtlich Bewirtschaftungsdaten werden auf den Grünlandflächen lediglich Schnitthäufigkeit und Viehbesatz erfasst. Angaben zur Ertragerfassung wurden nicht gemacht. Die Waldflächen sind seit den 1980er Jahren aus der Nutzung ausgespart, weshalb dort keine Bewirtschaftungsdaten aufgenommen werden.

Mit der Verteilung der 36 Standorte über ganz Baden-Württemberg werden die größeren Naturräume des Landes abgedeckt.

Der medien- und themenübergreifende Ansatz macht das Biologische Messnetz der LUBW auch für die Beobachtung der organischen Bodensubstanz interessant. Auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen ist unsicher, ob das Messintervall von 4 Jahren auch für die zur Beobachtung des SOC erforderlichen Ziel- und Begleitparameter gilt, und sollte überprüft werden. Geringfügig einschränkend wirkt sich zudem aus, dass regelmäßig der Oberboden, größere Bodentiefen jedoch offenbar nur unregelmäßig beprobt werden. Die Standorte des Biologischen Messnetzes der LUBW sind daher nach einer Bestätigung eines Messintervalls von 4 Jahren als

Kernstandorte eines bundesweiten Verbundmessnetzes zur Beobachtung des Bodenkohlenstoffs geeignet.

### **Bodenzustandserhebung Landwirtschaft**

Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE LW) dient primär der Treibhausgas-Emissionsberichterstattung der Bundesrepublik Deutschland und ist von vornherein so angelegt, dass ihre Ergebnisse eine transparente Ausgangsbasis für den Nachweis von Veränderungen des SOC-Vorrats in landwirtschaftlich genutzten Böden bilden (Jacobs et al. 2018). Es werden daher alle für die Beobachtung des SOC erforderlichen Ziel- und Begleitgrößen systematisch erfasst und dokumentiert. Die Probenahme erfolgt nach einem tiefenstufenbezogenen Schema bis 100 cm Tiefe. Bei der Probenaufbereitung wurden Wurzeln, Holz und Streu entfernt und das Material auf Feinboden < 2 mm sowie Grobboden  $\geq$  2 mm gesiebt. Für die Bestimmung des TC und TN wurden die Proben gemahlen. Es wurde ein umfangreiches Archiv mit Rückstellproben angelegt. Die angewendeten Analyseverfahren entsprechen dem heutigen Stand der Forschung und wurden im Voraus in einem Ringversuch mit fünf Institutionen auf Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit überprüft. Während der Routinemessungen wurde ein Qualitätssicherungsverfahren angewendet (Jacobs et al. 2018).

Bewirtschaftungsdaten und Informationen zur Betriebsstruktur wurden für einen zurückliegenden Zeitraum von zehn Jahren bei den Bewirtschaftern abgefragt und erfasst.

Die erhobenen Daten aus Laboranalysen, Geländearbeiten und Bewirtschaftung werden in drei qualitätsgesicherten Datenbanken gehalten.

Klimadaten liegen für die Standorte aus dem Hydromet-Raster des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2020) vor. Die Probenahme für die bislang einzige Inventur der BZE LW begann im Jahr 2012 und wurde 2018 abgeschlossen.

Das aus bundesweit 3.014 Standorten bestehende, in einem Raster von 8 × 8 km auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegte Messnetz der BZE LW erfüllt in hohem Maß die Anforderung an eine flächendeckende Repräsentativität.

Wenngleich aufgrund der Erstaufnahmesituation anhand des Datensatzes keine unmittelbar standortbezogenen SOC Veränderungen beobachtet werden können, erfüllt die BZE LW alle in Kapitel 4.4.4.1 beschriebenen Anforderungen an die Datenerhebung für Verbundstandorte und ist daher als Bestandteil eines Verbunds für das Thema Organische Bodensubstanz geeignet.

### **Bodenzustandserhebung im Wald**

Die Bodenzustandserhebung Wald (BZE Wald) beschäftigt sich u. a. mit Fragen zur aktuellen Kohlenstoffspeicherung und Änderungen des SOC-Vorrats in Waldböden und dient damit wie die BZE LW auch der Treibhausgas-Emissionsberichterstattung der Bundesrepublik im Rahmen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (Wellbrock et al. 2016). Alle für die Beobachtung des SOC erforderlichen Zielparameter und Begleitgrößen werden systematisch erfasst und dokumentiert. Für die Bodenzustandserhebung Wald liegen Messergebnisse aus zwei Inventuren der Zeiträume 1987 bis 1993 (BZE I) und 2006 bis 2008 (BZE II) vor.

Mit der BZE II wurde eine zusammenfassende Arbeitsgrundlage für die Geländearbeiten erarbeitet, die die diesbezüglichen Vereinbarungen der BZE I bestmöglich berücksichtigt (Wellbrock et al. 2016). Sämtliche Analysemethoden der BZE I wurden für die BZE II vereinheitlicht, festgelegt und im „Handbuch Forstliche Analytik“ dokumentiert. Ergänzend wurde ein Qualitätssicherungsprogramm mit Ringanalysen in den beteiligten Labors aufgelegt. Die in Einzelfällen für bestimmte Parameter auftretenden Abweichungen sind dokumentiert und die Messergebnisse im

Datensatz entsprechend markiert. Auf die in einer PostgreSQL-Server-Datenbank gehaltenen Rohdaten, Ableitungen und Basisauswertungen der BZE Wald kann von berechtigten Gruppen und Personen über eine Webapplikation passwortgeschützt zugegriffen werden (Wellbrock et al. 2016).

Das aus bundesweit rund 1.900 Standorten bestehende, in einem Raster von 8 × 8 km auf Waldflächen angelegte Messnetz der BZE Wald erfüllt in hohem Maß die Anforderung an eine flächendeckende Repräsentativität. Die Beprobung erfolgte in der Regel tiefenstufenbezogen bis in eine Tiefe von 90 cm. Bundeslandspezifische Abweichungen sind in Wellbrock et al. (2016) dokumentiert.

Für Auswertungen greift die BZE Wald auf interpolierte Klimadaten täglicher Datenreihen (1951-2003) des DWD zurück (Österle et al. 2006).

Die BZE Wald ist als Bestandteil eines bundesweiten Verbundmessnetzes zur Beobachtung des SOC geeignet.

### **Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche**

Von den in der Übersicht des BonaRes-Datenzentrums (2017) geführten und im Datensatz von Grosse & Hierold (2019) enthaltenen Dauerfeldversuchsstandorten (DFV) wurden Berlin-Dahlem, Bad-Lauchstädt, Speyer, Bad Salzungen und Thyrow für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemeldet und ordnen sich als grundsätzlich geeignet für die Beobachtung des SOC in einen Messnetzverbund ein. Diese Versuche können hier auf ihre Eignung zur Beobachtung des SOC in einem bundesweiten Messnetzverbund überprüft werden.

An den Standorten werden über lange Zeiträume insgesamt 18 statische Versuche durchgeführt. Seit den 1960er Jahren, mindestens aber seit 20 Jahren werden nach Angaben der Betreiber die Zielgrößen TC, TN und SOC in der Regel jährlich bestimmt. Beprobte wird meist die Tiefenstufe 0 bis 20 cm (Ap-Horizont), in Speyer und Bad Lauchstädt 0 bis 30 cm. Für den Stallmisteinlagerungsversuch und den Bracheversuch in Bad Lauchstädt wird auch die Tiefe von 30 bis 60 cm für SOC untersucht. Die Parameter Trockenrohdichte und Grobbodenanteil werden nicht regelmäßig erhoben, liegen aber projektbezogen bzw. aus flächenrepräsentativen Bodenprofilen vor.

Die aktuellen Messmethoden entsprechen den Standards. Für Thyrow ist die nasschemische Ermittlung des TC mittels Kaliumdichromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dokumentiert, ab 2007 kommt die Elementaranalyse zur Anwendung (vgl. Anhang D). Vergleichbare Angaben bestehen bei den anderen hier untersuchten DFV nicht. Die Angabe des Jahres 2013 bei den Versuchen in Berlin-Dahlem bezieht sich darauf, dass ab dann regelmäßige Messungen zu diesen Parametern vorgenommen werden. Nicht immer ist explizit die Messung von SOC angegeben (z. B. DFV Bad Lauchstädt). Hier lässt sich u. a. aus der Angabe, dass TIC bestimmt wird, auf die Ermittlung dieses Parameters schließen.

An allen Standorten werden standardmäßig über das C/N-Verhältnis Rückschlüsse auf die Qualität der organischen Substanz gezogen. Für klimatische Auswertungen können alle Versuchsstandorte auf die Daten eigener Wetterstationen zurückgreifen. Unter dem Aspekt sich ändernder Klimabedingungen liegt mit dem Agrarmeteorologischen Ertragsmessfeld (BDa-E-Feld) in Berlin-Dahlem zudem ein Dauerfeldversuch vor, in dem gezielt die Beziehungen zwischen Witterungsfaktoren sowie Wachstum, Entwicklung und Ertragsbildung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen untersucht werden (Schweitzer et al. 2017).

Aufgrund der gezielten Analyse der Wirkung einzelner Faktoren (z. B. Düngung, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Witterungsbedingungen), deren detaillierter Dokumentation sowie des Umfangs und der Auflösung der vorliegenden Zeitreihen sind die Dauerfeldversuche wichtige

Bausteine bei der Beobachtung des SOC auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Marx et al. 2017, Jacobs et al. 2018). Sie sind als Kernstandorte in einem Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund anzusehen.

### **Humusmonitoring Nordrhein-Westfalen**

Im Humusmonitoring NRW werden seit dem Jahr 2009 auf 45 für Nordrhein-Westfalen (NRW) repräsentativen Standorten Ackerböden auf ihre SOC-Gehalte, -Vorräte und Veränderungen der Vorräte beobachtet. Die 45 Standorte wurden im Ergebnis einer Inventur von 200 Ackerflächen in fünf Naturräumen nach bodenbezogenen Kriterien sowie mit Blick auf regionale Anbaustrukturen ausgewählt.

Es werden tiefenstufenbezogene Bodenproben bis in eine Tiefe von 60 cm gewonnen und alle in Kapitel 4.4.4.1 genannten Zielgrößen für ein Monitoring des SOC analysiert. Im Turnus von drei Jahren werden die SOC-Vorräte bestimmt und Trockenrohddichten und Grobbodenanteile ermittelt. Die SOC-Vorräte werden für eine Tiefe von 0 bis 60 cm (Ober- und Unterböden) nach der Equivalent-Soil-Mass-Methode von Wendt & Hauser (2013) berechnet (Bamminger et al. 2019).

Darüber hinaus werden alle drei Jahre Untersuchungen zur Ermittlung der Qualität der organischen Bodensubstanz durchgeführt und die Zusammensetzung der partikulären organischen Kohlenstofffraktionen mittels Ultraschalldispersion und Mittelinfrarotspektroskopie durch die Universität Bonn bestimmt.

An Bewirtschaftungsdaten werden Bodenbearbeitung, Zwischenfrucht, Hauptfrucht, organische Düngung, mineralische N-Düngung, Kalkdüngung sowie Ertrag aufgenommen.

Klimadaten werden aus den Rasterdaten des Klimaatlas NRW (1 × 1 km, LANUV 2016) abgegriffen.

Die Standorte des Humusmonitorings NRW sind aufgrund des kohlenstoffbezogenen Untersuchungsansatzes mit der Erfassung aller notwendigen Parameter und Begleitinformationen sowie der hohen zeitlichen Auflösung als Kernstandorte in einem Verbundmessnetz zur Beobachtung der organischen Bodensubstanz geeignet.

### **Humusmonitoring Bayern**

Im Humusmonitoring Bayern werden auf 347 ackerbaulich genutzten Standorten SOC und TN gemessen. Rückschlüsse auf die Humusqualität werden über das Verhältnis organischer Kohlenstoff : Gesamtstickstoff gezogen. Neben den Humuskennwerten wird die Textur bestimmt und es werden Daten zur Bewirtschaftung sowie zum Klima erhoben. Das Messnetz ist für den Freistaat repräsentativ und praxisbezogen angelegt. Es ist auf die Ermittlung standorttypischer Humusgehalte und deren Veränderung auf Ackerböden bei Beachtung der Regeln guter fachlicher Praxis ausgerichtet und dient der Erarbeitung von Grundlagen für die Bewertung von Humuskennwerten (Humusgehalt und -qualität) durch Landwirte und Berater. Das Messintervall beträgt 10 Jahre. Nach dem Messbeginn 2001 erfolgt im Zeitraum 2021 bis 2028 die dritte Probenahme. Eine Bestimmung des SOC-Vorrats ist nicht möglich, da der Parameter Trockenrohddichte nicht gemessen wird. Die Standorte des Humusmonitoring Bayern sind als Verbundstandorte für ein bundesweites Messnetz zur Beobachtung des SOC geeignet.

Da die Fortführung des Programms erst gegen Ende des laufenden Vorhabens bestätigt wurde, war es nicht mehr möglich, die 347 Standorte in die Projektdatenbank aufzunehmen. Im Zuge weiterführender Arbeiten zum Aufbau des Messnetzverbunds ist das entsprechend nachzuholen.

## **Integrated Carbon Observation System in Deutschland**

Von den 18 unsystematisch verteilten und verschiedene Nutzungen abdeckenden Ökosystemstationen des Integrated Carbon Observation System (ICOS) in der Bundesrepublik Deutschland (ICOS-D) werden an sieben Standorten Eddy-Kovarianz-Messungen zum Spurengasaustausch zwischen verschiedenen Ökosystemen und der Atmosphäre durchgeführt.

Für die Standorte Fendt, Gebesee, Grillenburg, Kienhorst, Klingenberg, Selhausen und Tharandt wurden Zielgrößen für das Verbund-Thema organische Bodensubstanz übermittelt. Kienhorst ist gleichzeitig Level II- und BZE-Wald-Standort. Die Standorte decken die Nutzungen Acker, Grünland und Forst ab. Es werden standardmäßig TC-, und SOC-Gehalt und SOC-Vorrat gemessen, der TN nur in Kienhorst. Die Beprobung erfolgt tiefenstufenbezogen jedoch je nach Versuchsstandort in uneinheitlichen Mächtigkeiten und Tiefenstufen. An sechs der Standorte wird bis in mindestens 100 cm Tiefe beprobt, in Grillenburg bis in 72 cm. Die Probengewinnung und Probenaufbereitung sind gemäß den ICOS-Protokollen und -Dokumenten standardisiert (Loustau et al. 2017) und die Verfahren dazu in Arrouays et al. (2017) veröffentlicht. Die Messmethoden entsprechen den aktuellen Standards. Das Messintervall für die Bodenbeprobung beträgt zehn Jahre, der Beginn der Messungen liegt je nach Standort zwischen 1995 und 2019.

Es werden kontinuierlich die erforderlichen, in Tabelle 7 beschriebenen Bewirtschaftungsdaten erfasst und nutzungsabhängig mindestens jährlich Biomassedaten für den Pflanzenbestand ermittelt. Das Vorgehen dazu ist in den nutzungsspezifischen ICOS Ecosystem Instructions (Ancillary Vegetation Measurements) standardisiert.

Bezüglich des Mindestumfangs der erhobenen Daten zur Beobachtung des SOC bestehen bei ICOS-D mit Ausnahme des TN-Gehalts keine Defizite. Aufgrund der Unterschiede im Messbeginn liegen für einige Standorte bereits Ergebnisse für SOC aus drei Messzyklen, für andere erst eine diesbezügliche Auswertung vor.

Die Erhebung von SOC innerhalb des Ökosystems im Umfeld der Eddy-Kovarianz-Türme stellt innerhalb von ICOS ein wichtiges Element zur unabhängigen Bewertung des langfristigen Netto-Kohlenstoffs-Austauschs zwischen Boden-Vegetation und Atmosphäre dar (Arrouays et al. 2017). Als Bestandteil eines Messnetzverbunds zur bundesweiten Beobachtung der organischen Bodensubstanz kommt der Verknüpfung von Bodendaten und atmosphärischen Daten eine zentrale Rolle für den Erkenntnisgewinn zu den Kohlenstoffflüssen zwischen Boden und Atmosphäre und beispielsweise bei der Modellierung der Entwicklung von SOC-Vorräten zu. Daher kommen die sieben ICOS-D-Standorte als Kernstandorte im Verbundmessnetz infrage.

## **Land Use and Cover Area Frame Survey LUCAS**

Im Europäischen LUCAS Soil-Programm werden an über 2.000 Standorten in der Bundesrepublik Deutschland Oberböden untersucht, um Landnutzungseffekte auf Böden zu ermitteln. Sie sind als eine Teilmenge des  $2 \times 2$  km-Rasters des LUCAS-Frame flächenrepräsentativ und machen etwa 10 % davon aus.

Seit dem Jahr 2009 werden alle drei Jahre alle Zielparameter zur Beobachtung des SOC erhoben. Die Proben werden aus einer Tiefe von 0 bis 20 cm gewonnen. Probenahme und -aufbereitung sowie die Analytik sind standardisiert.

Mit jeder Probenahmekampagne werden Landbedeckung und Landnutzung detailliert nach Kategorien, Klassen und Sub-Klassen sowie durch Vor-Ort-Kontrollen qualitätsgesichert aufgenommen. Detaillierte Bewirtschaftungsdaten z. B. zum Ertrag, zur Bodenbearbeitung oder zu Düngemaßnahmen werden hingegen nicht erhoben.

Das LUCAS Soil-Programm ist als Bestandteil eines bundesweiten Verbundmessnetzes zur Beobachtung der organischen Bodensubstanz geeignet und fokussiert dabei nicht zuletzt aufgrund des engen Messintervalls auf Veränderungen des SOC-Vorrats in Oberböden. LUCAS Soil könnte dabei beispielsweise u. a. auf der Ebene von größeren Betrachtungsräumen (z. B. Naturraum, Klimaregion o. ä.) ein Bindeglied zu den Programmen BZE Wald und BZE Landwirtschaft sein. Letztere haben zwar wesentlich größere Messintervalle, werden jedoch mit signifikant höherem Aufwand bezüglich Messnetzdicke, erfasste Bodentiefe und Messparameter durchgeführt.

### **Umweltprobenbank des Umweltbundesamtes**

Von den elf für den Verbund gemeldeten Standorten der Umweltprobenbank sind zwei im Level II- und BDF-Programm (dort als NI-0105, NI-0106 geführt) sowie einer im Level II-Programm (dort als SH-BORN geführt) enthalten. An allen Standorten werden der TC- und der SOC-Gehalt bestimmt.

Während die Level II-Standorte im 10-Jahres-Turnus beprobt werden, erfolgt bei den anderen acht Messtellen die Untersuchung im 4-jährigen Intervall. Bei Letzteren werden Proben aus der organischen Auflage, dem A-Horizont und dem obersten Unterbodenhorizont gewonnen. Die Angaben zur Bewirtschaftung der Level II-Probenahmestellen sind umfangreich, während für die acht reinen Umweltprobenbank-Punkte lediglich Informationen zur Bewirtschaftungsart (Forstnutzung) und darüber, dass regelmäßiger Grasschnitt mit Abfahren des Materials (Grünland) erfolgt, vorliegen. Hinsichtlich der Methode zur Bestimmung des TC und des SOC bestehen Unterschiede: Im Level II-Programm kommt die Elementaranalyse (DIN 10694) zur Anwendung, SOC wird dann als Differenz zwischen TC und TIC berechnet; an den anderen acht Standorten wird auf die trockene Verbrennung und gemeinsame Bestimmung von TC und SOC (DIN EN 15936, Temperaturrampe) zurückgegriffen.

Für Klimadaten ist an den Standorten auf Hydromet-Rasterdaten des DWD (2020) zurückzugreifen.

Die vom UBA gemeldeten acht Standorte der Umweltprobenbank sind aufgrund der fehlenden Parameter zur Ermittlung des SOC-Vorrats nur bedingt als Bestandteil eines Verbundmessnetzes geeignet. Positiv ist das Messintervall von vier Jahren, wodurch die diesbezügliche Anforderung für eine sichere Beobachtung von Änderungen des SOC erfüllt sind. Defizite bestehen in der Dokumentation der Bewirtschaftung. Zum jetzigen Stand kann die Umweltprobenbank daher nicht zum Verbund für das Thema organische Bodensubstanz beitragen. Die genannten drei Level II-Standorte werden weiter oben im Abschnitt ICP Forests Level II dieses Kapitels mitbewertet.

### **Fazit**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass von den grundsätzlich geeigneten Messprogrammen mit einer Ausnahme (Umweltprobenbank) alle die Anforderungen an die Datenerhebung erfüllen, z. T. mit Einschränkungen.

Auf der Ebene des Intensiv-Monitoring und zu Forschungszwecken im Verbundmessnetz eignen sich

► als Kernstandorte:

- BDF mit Erfassung des SOC-Vorrats (57 % der für organische Bodensubstanz gemeldeten BDF) (ggf. nach Anpassung von Messintervallen)
- Biodiversitäts-Exploratorien (aber: Bodentiefe 10 cm)

- Biologisches Messnetz LUBW (aber: meist nur Oberboden)
- DFV Berlin-Dahlem, Bad-Lauchstädt, Speyer, Bad Salzungen und Thyrow
- ICOS-D
- Humusmonitoring NRW
- Voraussichtlich Humusmonitoring Bayern<sup>15</sup>

► als Verbundstandorte:

- BDF, an denen neben den Zielparametern auch Trockenrohdichten und Grobbodenanteile im regulären Messintervall erhoben werden (nach Beseitigen von Defiziten insbesondere hinsichtlich der Dokumentation von Bewirtschaftungsdaten)
- ICP Forests-Level II-Programm

Auf der Ebene des Extensiv-Monitoring mit dem Anspruch einer flächendeckenden Repräsentativität sind die BZE Landwirtschaft, BZE Wald (ca. alle 15 Jahre) und LUCAS Soil (ca. alle 3 Jahre) sowie flächenrepräsentative Basis- und Intensiv-BDF (ca. alle 5 bis 10 Jahre) für das Verbundmessnetz geeignet.

#### 4.4.4.3 Empfehlungen zur Anpassung und Ergänzung

Im Rahmen der Eignungsbewertung für das Themenfeld organische Bodensubstanz zeigte sich, dass für einzelne Messprogramme bzw. Standorte unterschiedliche Defizite bestehen, die sich hinsichtlich

- Qualität der Dokumentation von Ziel- und Begleitparametern bzw. -informationen,
- Erfassung von SOC-Vorräten,
- Probenahmehäufigkeit, -zeitpunkt, Beprobungstiefe und
- Repräsentativität

einordnen lassen.

Um diese Defizite zu beseitigen oder zumindest zu reduzieren, werden im Folgenden Maßnahmen vorgeschlagen:

##### a) Verbesserung der Qualität der Dokumentation

Für die Eignungsbewertung von Messprogrammen und Standorten ist eine schlüssige und lückenlose Dokumentation von Stammdaten sowie Messgrößen und Methoden essenziell. Unsicherheiten bei der Bewertung ergeben sich häufig aus dem Fehlen von Informationen zu Ziel- und Begleitgrößen, da sich nicht immer sicher schlussfolgern lässt, dass diese grundsätzlich nicht erfasst werden. Daher sollten bei Standortabfragen für zukünftige Datennutzer stets auch Einträge über das Nichtvorliegen einer angefragten Information erfolgen. Beispielhaft sei in Zusammenhang mit der Prüfung für das Themenfeld organische Bodensubstanz die Angabe des Ausgangsgesteins genannt, die es ermöglicht, das Fehlen des Parameters TIC bei carbonatfreien Substraten plausibel einzuordnen und entsprechend zu bewerten.

---

<sup>15</sup> Das Programm wurde noch nicht anhand von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen bewertet, da erst nach Abschluss der Bewertung Informationen zur Fortführung des Messbetriebs vorlagen.

Von großer Bedeutung ist die Dokumentation der Methoden zur Bestimmung der Trockenrohdichte zum jeweiligen Messzeitpunkt. Hier sind methodische Unterschiede möglich (vgl. Abschnitt BDF in Kapitel 4.4.4.2 und nachfolgender Abschnitt „Erfassung von SOC-Vorräten“), wodurch sich Qualitätsunterschiede von SOC-Vorratsdaten ergeben können. Für zukünftige Datennutzer müssen diese nachvollziehbar und erkennbar sein.

Unabdingbar für die Beobachtung von Änderungen des SOC insbesondere in landwirtschaftlich genutzten Böden sind Bewirtschaftungsdaten. Hier besteht bei einem Teil der Standorte der Boden-Dauerbeobachtung auf Acker- und Grünlandflächen Anpassungs- und Ergänzungsbedarf. Für Datenanfragende sind in Zusammenhang mit Bewirtschaftungsdaten häufig Informationen zur rechtlichen Situation und zu technischen Zugriffsmöglichkeiten von Interesse und sollten geregelt und kommuniziert werden.

Darüber hinaus lässt sich die Auswahl geeigneter Standorte von BDF und Dauerfeldversuchen effizienter gestalten, wenn die verwendeten Methoden und erfassten Begleitinformationen aufgrund gemeinsam festgelegter Qualitätskriterien für die bereitgestellten Standortdaten dokumentiert und für Anfragen durch Datennutzer bereitgestellt werden. Für die SOC-Vorratermittlung wurde von Seiten der BDF-Betreiberinnen und Betreiber bereits ein entsprechender Vorschlag erarbeitet (siehe folgender Abschnitt).

#### **b) Erfassung von SOC-Vorräten**

Zurzeit werden im Rahmen fast aller für das Themenfeld organische Bodensubstanz untersuchten Messnetze SOC-Vorräte bestimmt. Unterrepräsentiert sind dabei die BDF-Programme der Bundesländer, bei denen lediglich fünf Länder explizit den SOC-Vorrat als Zielparame-ter nennen. Diese machen etwa ein Fünftel aller für das Verbundthema organische Bodensubstanz gemeldeten BDF-Standorte aus. Zudem werden in den jeweiligen Ländern nicht alle Landnutzungsformen abgedeckt. Diese Lücken und die Lücken hinsichtlich der Flächenrepräsentativität sollten für ein bundesweites Verbundnetz zum Thema organische Bodensubstanz geschlossen werden. Geeignet dafür sind die BDF-Standorte, an denen die Grundlagenparameter für die Bestimmung des SOC-Vorrats bereits erhoben werden. Idealerweise sollten SOC-Gehalte und zeitgleich gemessene Trockenrohdichten zur Verfügung gestellt werden können. Beim Grobbodenanteil kann auf vorliegende Messergebnisse zurückgegriffen werden, wenn für den Standort eine Veränderung der Skelettgehalte (z. B. durch Erosionsereignisse) ausgeschlossen ist. Werden andere Messwerte für die Trockenrohdichte verwendet, muss dennoch stets eine zuverlässige Bestimmung des SOC-Vorrats möglich sein. Die einfache ungeprüfte Weiternutzung des Wertes für die Trockenrohdichte aus einer Grundinventur ist beispielsweise nicht als geeignet anzusehen. Die Methode, mit der in einem bereitgestellten Datensatz die einem SOC-Gehalt zugeordnete Trockenrohdichte ermittelt wurde, muss entsprechend dokumentiert werden. Im Rahmen des Austauschs mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurde von Seiten der BDF-Betreiberinnen und Betreiber der Bundesländer ein Vorschlag für die Dokumentation der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Vorräte von organischem Kohlenstoff entwickelt. Mit der vorgeschlagenen Vorgehensweise soll sichergestellt werden, dass die Länder dem Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund die bestmögliche Ermittlung der Vorräte vorlegen können, dass neben den Endergebnissen auch die Eingangsdaten zur Verfügung gestellt werden und dass die Vorgehensweise bei der Ableitung der Parameter dokumentiert ist (mündl. Mittlg. Höper 2021).

Sofern keine geeigneten Standorte aus anderen Messprogrammen vorliegen, sind in einigen Bundesländern (z. B. Rheinland-Pfalz, Brandenburg) dazu auch die landwirtschaftlichen Nutzflächen einzubeziehen.

Werden mehrere Tiefenstufen beprobt, muss die Berechnung des SOC-Vorrats auf Grundlage eines Equivalent-Soil-Mass-Ansatzes erfolgen, um systematische standort- und nutzungsübergreifende Vergleiche zu ermöglichen. Die diesbezügliche Vorgehensweise ist zum Beispiel bei den BDF nicht dokumentiert, weshalb sich zunächst ein Abstimmungsbedarf zwischen den BDF-betreibenden Institutionen der Bundesländer hinsichtlich der Implementierung eines einheitlichen Equivalent-Soil-Mass-Verfahrens und der diesbezüglichen Dokumentation ergibt.

### c) **Anpassung und Vereinheitlichung von Probenahmehäufigkeit, -zeitpunkt, Beprobungstiefe**

Nach FAO (2020) wird eine Wiederholung der Probenahme nach 4 und 8 Jahren empfohlen, um bewirtschaftungsbedingte SOC-Veränderungen erfassen zu können. Eine dahingehende Verringerung der Messintervalle von BDF-Standorten, die alle 10 bis 20 Jahre beprobt werden, auf 5 bis 10 Jahre würde die Eignung der BDF-Standorte für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund erhöhen und die Vergleichbarkeit zwischen den Standorten und Messprogrammen für die Beobachtung des SOC deutlich verbessern. Die BDF eignen sich dann für die Berichterstattung von SOC-Veränderungen auf Länderebene und wären bei Bedarf auch für die nationale Berichterstattung auf internationaler Ebene (orientiert an FAO 2020) vorbereitet.

Von zentraler Bedeutung ist dabei, dass die Beprobung stets am selben Ort und zum gleichen Zeitpunkt stattfindet. Hier gibt es bei den BDF teilweise Anpassungs-, bzw. hinsichtlich der Dokumentation des Probenahmezeitpunktes auch Ergänzungsbedarf. Vermieden werden sollte ein Wechsel zwischen horizont- und tiefenstufenorientierter Probenahme. Idealerweise erfolgt die Gewinnung der Proben und die Ermittlung der Parameter nach Tiefenstufen unter Berücksichtigung der Untergrenze des A-Horizonts.

Die Auswirkungen von Klimaveränderungen sind nach Flessa et al. (2019) im Oberboden am deutlichsten zu beobachten, daher sollte die Beprobung den gesamten Oberboden umfassen. Da Änderungen der Fruchtfolge und der Bewirtschaftung auch Auswirkungen auf den SOC in Unterböden haben können, sollten diese mituntersucht werden. Auf diese Weise könnte eine Datenbasis entstehen, die zum Prozessverständnis des Kohlenstoffhaushalts einen wesentlichen Beitrag leistet.

### d) **Erhöhung der Flächenrepräsentativität**

Mit den Boden-Dauerbeobachtungen der Länder, welche Zielgrößen für das Thema organische Bodensubstanz gemeldet haben, besteht ein bundesweites Messnetz aus mehr als 600 Standorten, die jedoch nur teilweise die Anforderungen als Verbundstandorte für die Beobachtung des SOC erfüllen. Eine bundesweite Abdeckung der verschiedenen biogeografischen Regionen sowie der Klimaräume ist auch durch Einbeziehung der anderen Messnetze (außer BZE) nicht vollständig gegeben. Diese Lücken lassen sich durch BDF-Standorte füllen, an denen die Grundlagenparameter für die Bestimmung des SOC-Vorrats bereits erhoben werden, wenn sie den oben gestellten Anforderungen hinsichtlich der erfassten Begleitparameter genügen. Um diesem Defizit zu begegnen, sollte für potenzielle Datennutzer eine belastbare und vollständige Dokumentation der erfassten Begleitparameter zur Verfügung stehen (vgl. Abschnitt „Verbesserung der Qualität der Dokumentation“ oben). Durch die Untersuchung von Forst, Grünland, Acker und einigen Sonderkulturen sind flächenmäßig häufige Nutzungstypen berücksichtigt, Moore sind in den Messprogrammen jedoch unterrepräsentiert. Die Einrichtung von Messstandorten auf diesen Flächen wird als unbedingt notwendig erachtet, da dem Erhalt und der Renaturierung von Mooren im Klimawandel eine sehr hohe Bedeutung zukommt. Zu berücksichtigen sind hier die aktuellen Aktivitäten des Thünen-Instituts für Waldökosysteme zur Einrichtung eines bundesweiten

Moorbodenmonitorings unter Wald (Pilotphase 01.2021 bis 05.2025; Beschreibung siehe Abschnitt 9 in Anhang F) sowie im Offenland.

## 4.5 Verbund-Thema Bodenwasserhaushalt

Für das Thema Bodenwasserhaushalt liefern mehrere Programme bodenbezogene Messdaten oder Modelleingangsdaten. Dies sind ICP Forests Level II, Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung, DWD Bodenfeuchte und verschiedene Feldlysimeter (Messdaten) sowie Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft, Basis-Boden-Dauerbeobachtung, Umweltprobenbank und DWD Agrarmeteorologie (Modelleingangsdaten). Standorte mit Modelleingangsdaten sind flächenrepräsentativ über das gesamte Bundesgebiet und die klimavulnerablen Regionen verteilt (Indikator Sickerwasserrate nach adelphi et al. 2015). Wirkmodellierungen der Bodenfeuchte liegen für die landwirtschaftlichen Nutzflächen vor. Standorte mit Messungen relevanter Größen – dies sind im Wesentlichen Bodenfeuchte- und Sickerwassermessflächen sowie Lysimeteranlagen – decken Deutschland je nach Nutzung und Sensitivität in unterschiedlichem Maß ab.

Die Untersuchungskonzepte und die Messtechnik für die Größen Bodenfeuchte, Sickerwassermenge und Bodenlösungschemie der bestehenden Messstandorte sind prinzipiell vergleichbar. Erforderliche Daten zu Bodenphysik und Klima liegen i. d. R. vor. Einschränkungen der Vergleichbarkeit ergeben sich aus der Standortcharakteristik und der realen Bewirtschaftung; teilweise auch aus unterschiedlichen Messtiefen. Die Kontinuität des Parameterumfangs und der eingesetzten Untersuchungsverfahren sind gewährleistet. Eine Anpassung der Messtermine und der Messhäufigkeit an den Standorten ist nicht notwendig. Eine Vereinheitlichung der Messtiefen an bestehenden Untersuchungsstandorten ist nicht zielführend; hier sollte jeweils standortbezogen anhand der Profilbeschreibung auf Vergleichbarkeit geprüft werden. Ergebnisse von Bodenfeuchtemessungen sind messtechnisch bedingt mit Unsicherheiten behaftet. Grundsätzlich besteht hier ein besonderer Anspruch an die Plausibilitätsprüfung, insbesondere unmittelbar nach dem Einbau oder Ersatz von Sensoren.

Die gemeldeten Messstandorte aus Intensiv-Monitoring und Forschung repräsentieren vorrangig forstliche Landnutzung und nur in untergeordnetem Maß Ackerbau und Grünland. Als Kernstandorte eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds wurden 51 Standorte identifiziert, die seit mindestens 10 Jahren Messdaten für Bodenfeuchte und/oder Sickerwassermengen liefern. Die Anzahl von Kernstandorten, die für die bundesweite Beobachtung von klimabedingten Veränderungen des Bodenwasserhaushalts in Frage kommen, ist für landwirtschaftliche Nutzungen und Hotspots (Feuchtstandorte) nicht ausreichend. Hier sind zusätzliche Messstandorte erforderlich, sofern nicht andere Programme wie Dauerfeldversuche, Grundwasserstands- und Moorüberwachung Alternativen darstellen. Konstante Bewirtschaftungsbedingungen bzw. zumindest lückenlos dokumentierte Bewirtschaftungsdaten sind im landwirtschaftlichen Bereich von Vorteil bzw. notwendig.

Für detaillierte Ausführungen wird auf UBA (2020) verwiesen.

## 4.6 Verbund-Thema Bodenerosion

Trotz der zu erwartenden Folgen des Klimawandels für die Bodenerosion ist nur in zwei Bundesländern ein Messnetz zur langfristigen Erfassung der Bodenerosion vorhanden, das auf vorhandenen Boden-Dauerbeobachtungsflächen und Erosionsmessflächen durchgeführt wird (Baden-Württemberg, Niedersachsen). Ein anderer methodischer Ansatz über ein Feinnivellement wird auf zwei Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen-Anhalt verfolgt. Das Erosionsmonitoring in Schleswig-Holstein wird derzeit nicht fortgeführt.

Von zunehmender Bedeutung könnten schadensfallabhängige Kartierungen zur Erfassung von Erosionsereignissen sein, wie sie in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Sachsen-Anhalt durchgeführt werden. Vor dem Hintergrund einer möglichen klimabedingten Zunahme extremer Niederschlagsereignisse sind Schadenskartierungen zu Häufigkeit und räumlicher Verteilung von Erosionsereignissen ein wichtiges Hilfsmittel, um Messnetze und Messstandorte hinsichtlich ihrer Lage in vulnerablen Regionen Deutschlands zu priorisieren. Von Nachteil dürfte allerdings sein, dass die Erfassung der Erosionsereignisse länderspezifisch und somit nicht nach einheitlichen Kriterien erfolgt, was die Vergleichbarkeit der Länderdaten erschwert.

Ein bundesweiter Horizontalvergleich der Mess- und Kartier-Ergebnisse ist derzeit nicht möglich. Somit sind auch bundesweite Aussagen zur Bodenerosion gegenwärtig anhand der bekannten Erosionsmessflächen und Schadensfallkartierungen nicht möglich. Das bestehende Messnetz sollte verdichtet werden. Kontinuierliche, standardisierte Messungen sind zu definieren.

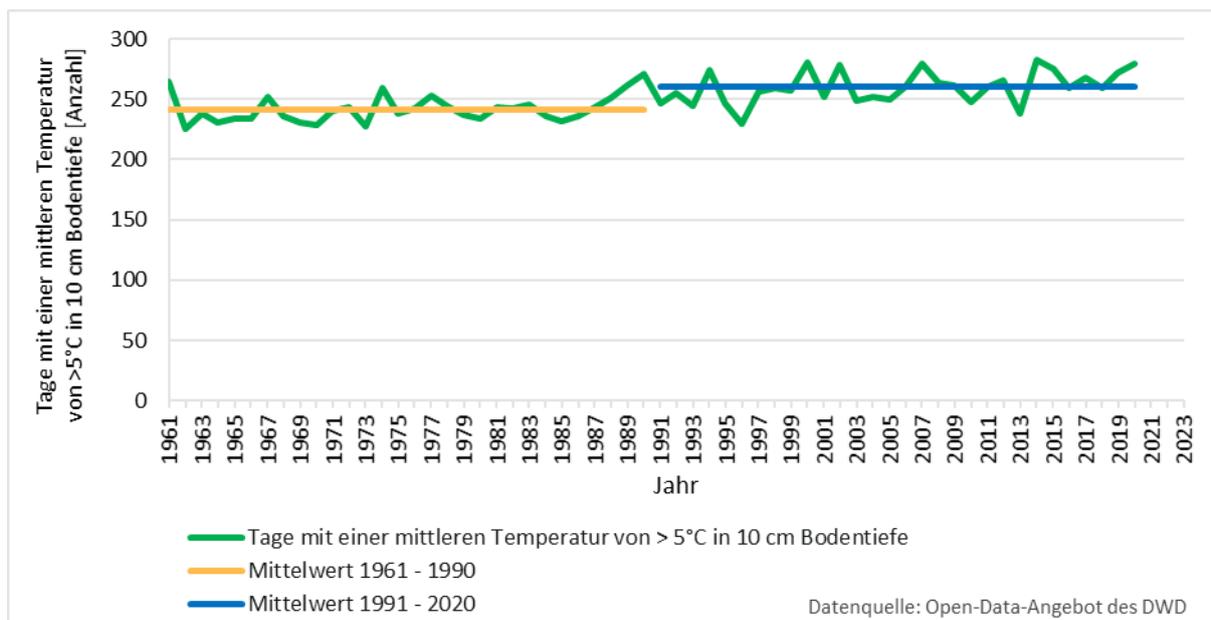
Für detaillierte Ausführungen wird auf UBA (2020) verwiesen.

## 4.7 Entwurf des Indikators Temperatur im Oberboden

Der neue Indikator „Temperatur im Oberboden“ soll in die Arbeiten der Bundesregierung zum Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel einfließen. Er wurde vom UBA (FG II 2.7) gemeinsam mit dem DWD, Abteilung Agrarmeteorologie, und den Forschungsnehmern konzipiert.

Als Indikator wird die Anzahl der Tage mit einer mittleren Temperatur von über 5°C in 10 cm Tiefe verwendet, die an Messfeldern von 15 ausgewählten Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes unter unbewachsenem Boden erfasst werden. Die Tagesmittelwerte werden hinsichtlich des Überschreitens des Schwellenwerts von 5,0°C ausgezählt und dann für jedes Jahr ab 1961 je Standort summiert. Die Summen der Jahre der 15 verwendeten Stationen werden arithmetisch gemittelt; die Mittelwerte dienen als Werte für den Indikator. Zusätzlich wird der Mittelwert der Indikatorwerte in den Zeitperioden 1961-1990 und 1991-2020 berechnet (siehe Abbildung 6).

**Abbildung 6: Abbildungsvorschlag für den Indikator Temperatur im Oberboden**



### Hintergrund und Bedeutung

Eine Zunahme der Temperatur im Boden hat Konsequenzen für den Pflanzenbau (Keimung und Wachstum der Pflanzen), das Leben im Boden (Aktivität der Bodenorganismen) und die Bodenstruktur. Bodenentwicklungsprozesse wie Verwitterung und Zersetzung werden bei steigenden Temperaturen beschleunigt. Ein verstärkter Humusabbau führt zu einer verringerten Wasserspeicherkapazität des Bodens und reduziert die Gefügestabilität. Die Bodentemperatur ist auch der wichtigste Treiber der Bodenatmung, deren Anstieg zu einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus den Böden und damit zu einer Rückkopplung bei der Erderwärmung führen kann. Im Allgemeinen verbessern sich mit steigenden Bodentemperaturen bei einer ausreichenden Bodenfeuchte die Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen und die CO<sub>2</sub>-Freisetzung nimmt zu.

Ein Temperaturanstieg kann andererseits die Bindung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Boden fördern, denn durch die erhöhten Temperaturen und die damit verbundene längere Vegetationsperiode bilden die Pflanzen bei ausreichendem Wasserangebot unter Verbrauch von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre mehr Biomasse. Diese gelangt in den Boden und erhöht die Bodenkohlenstoffvorräte. Bei Überschreiten der Temperatur von 5 °C in Bodentiefen zwischen 5 und 10 cm setzt das Wachstum bzw. die Entwicklung der meisten Pflanzenarten ein, ebenso die Nährstoffmobilisierung; beim Unterschreiten dieser Temperatur kommen die Entwicklungsprozesse weitgehend zum Erliegen. D. h. je höher der Indikatorwert ist, an desto mehr Tagen im Jahr wird der Schwellenwert von 5 °C überschritten und es finden in relevantem Maß Prozesse des Pflanzenwachstums, der Nährstoffmobilisierung sowie mikrobielle Umsetzungsprozesse statt.

Der Indikator erlaubt Rückschlüsse auf den Bedarf der Anpassung der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung aufgrund von Folgen erhöhter Bodentemperaturen (Trockenheit, Veränderungen des Humusvorrats), auf Wirkungen auf die Bodenlebensgemeinschaft und bodenchemische Prozesse sowie auf das Potenzial für THG-Emissionen aus Oberböden.

Die für die Dokumentation von DAS-Indikatoren notwendigen Factsheets wurden ausgefüllt und liegen dem UBA (FG II 2.7) vor. Diese Entwürfe können als Grundlage für die weitere Abstimmung des Indikators in Fachgremien verwendet werden. Der Indikator wird in Kapitel 5.8.1 in Zusammenhang mit der Umsetzung des Klimafolgen-Monitoring-Verbunds aufgegriffen.

## 5 Teil B: Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland

Eine erste Fassung des Konzepts für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds mit Vorschlägen für die Umsetzung wurde im Oktober 2018 in einem Fachgespräch mit Vertretern von Bund- und Länderbehörden sowie Forschungsinstitutionen zur Diskussion gestellt und weiterentwickelt. Maßgeblich überarbeitet, konkretisiert bzw. ergänzt wurden im aktuellen Forschungsvorhaben die Ziele und Aufgaben des Verbunds, und seine Ausrichtung auf ausgewählte bundesweite Fragestellungen. Im Zuge dessen wurden die für DAS-Berichterstattung vorhandene Boden-Indikatoren analysiert und Empfehlungen für zukünftige Indikatoren abgeleitet. Weiterhin erfolgte eine Konkretisierung der zur organisatorischen Umsetzung des Verbunds erforderlichen Strukturen im Hinblick auf Verantwortlichkeiten, Aufgaben und Zuständigkeiten.

### 5.1 Ziele und Aufgaben des Verbunds

Die langfristige und kontinuierliche Erhebung von Daten zum Bodenzustand und seinen Veränderungen leistet einen Beitrag für den Klimaschutz, insbesondere für die Entwicklung geeigneter Klimaanpassungsstrategien. Bisher sind keine bundesweit flächendeckenden Erkenntnisse zu Trends als Folge der Klimawirkungen auf den Boden verfügbar. Das erschwert politisches Handeln im Sinne des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und des Bodenschutzes.

Eine Vielzahl von Verwaltungs- und Forschungseinrichtungen betreibt z. T. deutschlandweite Messnetze und führt dauerhaft bodenbezogene Untersuchungen durch, die für diese Fragestellung wichtige Daten erheben.

Der Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund versteht sich als ein **Netzwerk** der Daten erhebenden Stellen. Zur praktischen Umsetzung des Verbunds bedarf es einer zentralen Stelle bzw. einer Institution, die den Verbundbetrieb organisiert und von einer Steuerungsgruppe begleitet wird (siehe Kap. 5.6.1).

Die **Ziele** des Verbunds sind:

- ▶ Zusammenbringen und Vernetzen von Akteuren bodenbezogener Monitoring- und Erhebungsaktivitäten unterschiedlicher Fach- und Themenbereiche, um gemeinsam durch Datenauswertung und Modellierung zu bundesweit harmonisierten und belastbaren Aussagen zum Bodenzustand und seine u. a. durch den Klimawandel bedingten Veränderungen zu kommen. Im Fokus steht dabei die Frage, in welchem Maß sich in Deutschland unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung bodenhydrologische Kenngrößen, der Gehalt bzw. Vorrat an organischer Bodensubstanz, die Bodenlebensgemeinschaft und die Bodenerosion verändern.
- ▶ Etablieren einer gemeinsamen Plattform, die einen leichteren Zugang zu Informationen über bodenbezogene Messdaten für Anwenderinnen und Anwender in Wissenschaft und Verwaltung schafft und bestehende sowie geplante Initiativen mit ähnlicher Zielsetzung berücksichtigt.

Inhaltlich ist der Verbund auf die bundesweite Berichterstattung für das Handlungsfeld Boden im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) sowie auf nationale Berichte zum Bodenzustand und zur Bodenqualität ausgerichtet. Für diese Zwecke ist eine Vergleichbarkeit der Methoden und Messdaten von unterschiedlichen Messprogrammen ein wichtiger Aspekt. Mit Blick auf die aktuelle Situation wird jedoch klar, dass der Verbund diese

Vergleichbarkeit bis in letzte Konsequenz nicht mehr umsetzen kann. Er kann aber durch die Definition von Zielgrößen und Methoden Standards setzen. Ein erster wichtiger Schritt ist es, zunächst an den Daten anzusetzen, die bereits jetzt schon zusammen auswertbar sind (Methoden, Tiefenstufen).

Standards ermöglichen langfristig ein gezieltes Hinarbeiten auf eine bessere Vergleichbarkeit von Messdaten für diejenigen Zielgrößen, die für bodenbezogene Fragen von Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel relevant sind. Zudem werden die Leistungen und auch die Defizite z. B. in der Flächenabdeckung der bodenbezogenen Messprogramme im bundesweiten Maßstab erst durch die Verbindung der vorhandenen bodenbezogenen Mess- und Erhebungsprogramme sichtbar.

Mit dem Verbund werden die Arbeiten der Bundesregierung zur Klimaanpassung und zu den Folgen der Klimaänderungen mit belastbaren Daten und Zeitreihen für das Handlungsfeld Boden unterstützt. Die Informationen ermöglichen Fortschritte bei der nachhaltigen Bewirtschaftung von Böden und bei der Nachverfolgung und Bewertung der Anpassung an den Klimawandel.

Damit wird die Wertschöpfung des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebungen in Deutschland erhöht. Ein positiver Nebeneffekt kann sein, dass eine Teilnahme am Verbund zum Fortbestand von langjährigen Monitoring-Aktivitäten beiträgt.

Der Verbund kann langfristig die Voraussetzungen dafür schaffen, dass den Datennutzern in Forschung und Verwaltung über verschiedene Messprogramme hinweg belastbare Daten für ausgewählte Zielgrößen zur Verfügung stehen. Anwenderinnen und Anwender können die entsprechenden Messdaten direkt bei den Daten erhebenden Stellen anfragen. Dabei kann die Kombination von Daten unterschiedlicher Messaktivitäten für spezifische Fragen der Auswertung programmspezifische Defizite (z. B. Erhebungsumfang, Messintervalle) kompensieren oder von Vorteil sein.

Der Verbund bezieht Überwachungsdaten verschiedener Fragestellungen, Messnetze und Resorts sowie verschiedene Ebenen der Messintensität ein (siehe nachfolgende Übersicht und Abbildung 7).

#### **Ebenen unterschiedlicher Messintensität (Lazar et al. 2014)**

Mit einem „Nested design“-Ansatz, in dem verschiedene Informationsebenen kombiniert werden, lassen sich bodenbezogene Klimafolgen präzise und repräsentativ erfassen. Dabei können folgende Mess- bzw. Informationsebenen integriert werden:

##### **1. „Forschungsansätze“**

Wenige, sehr intensiv und mit vielen Variablen beobachtete Standorte liefern Detailinformationen, Trends und die Grundlage für das Prozessverständnis und die Kalibration von Bodenmodellen, mit denen die Trends in den Raum bzw. zeitlich extrapoliert werden. In Deutschland haben sich Forschungsnetzwerke etabliert, die in Forschungsinfrastrukturen überführt werden. Sie bieten somit historische Daten und auch eine zukünftige Langfristsperspektive von zeitlich und räumlich hochauflösenden Messungen.

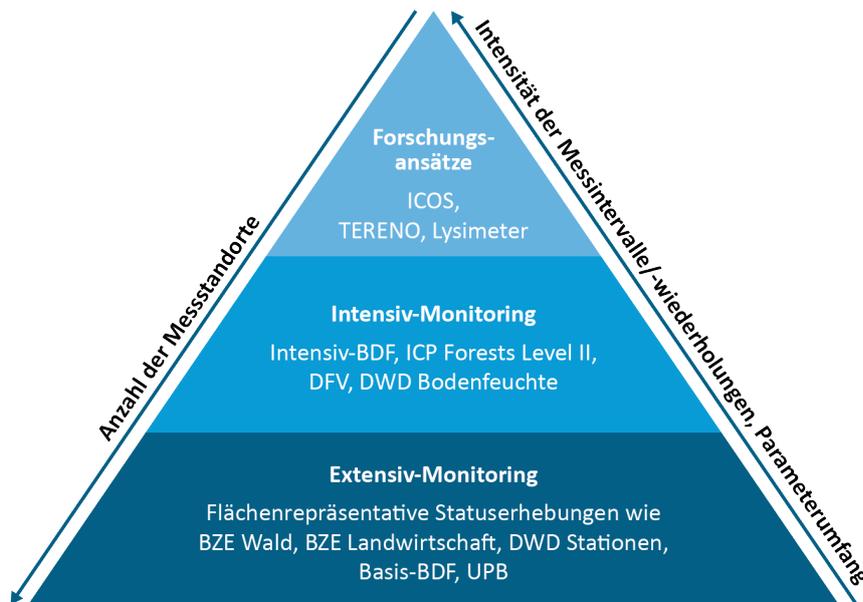
##### **2. „Intensiv-Monitoring“**

Ein räumlich dichteres Messnetz, in dem weniger intensiv gemessen wird (z. B. geringere Messfrequenz, kleineres Parameterspektrum, einfacher zu erhebende Kenngrößen) erweitert den Datensatz, sodass Gradienten von Landnutzung, Standorteigenschaften, Klima und Vulnerabilität der Böden beobachtet werden können.

### 3. „Extensiv-Monitoring“

Dichte Messnetze, die in längeren Messabständen und mit einfacher zu erhebenden Kenngrößen arbeiten, bringen die Zeitreiheninformationen der Ebenen 1 und 2 in die Fläche. So werden z. B. bei den Bodenzustandserhebungen gleichzeitig Landnutzungs- und Bewirtschaftungshistorie abgefragt, die eine diagnostische und prognostische Nutzung der z. T. einmalig erhobenen Daten mit Hilfe von Bodenmodellen und Informationen aus den Ebenen 1 und 2 ermöglichen.

Abbildung 7: Integration verschiedener Messebenen



ICOS = Integrated Carbon Observation System; TERENO = Terrestrial Environmental Observatories; BDF = Boden-Dauerbeobachtungsflächen; ICP Forests = International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests; DWD = Deutscher Wetterdienst; BZE = Bodenzustandserhebung; UPB = Umweltprobenbank

Seit Langem wird in Bund und Ländern eine Vergleichbarkeit von Methoden und Messdaten aus bodenbezogenen Langzeitbeobachtungen angestrebt. Um die Probleme der unzureichenden Vergleichbarkeit von Messdaten zu lösen, bieten sich verschiedene Herangehensweisen an:

- a) Anpassung der Methoden von bestehenden Messaktivitäten nach einheitlichen Qualitätskriterien für die Datenerhebung (z. B. Messtiefen, Zeitpunkte, Methodendokumentation, zu erhebende Begleitgrößen),
- b) Einrichtung neuer Messstandorte und Ergänzung von Messungen an bestehenden Standorten nach einheitlichen Qualitätskriterien für die Datenerhebung sowie
- c) Entwicklung von Konzepten zur Herstellung der Vergleichbarkeit (z. B. Vergleichbarkeitsstudien, Umrechnung).

Bestehende Messaktivitäten durch die Umstellung von Erhebungsmethoden anzupassen, ist schwierig und ein großes Hindernis, da die Kontinuität von Messreihen und die programminterne Vergleichbarkeit gefährdet sein können. Eine Anpassung der Dokumentation von Methoden ist notwendig, um Messdaten erst einmal auf Vergleichbarkeit prüfen zu können. Werden einheitliche Qualitätskriterien nur für neue Monitoringstandorte angewendet, fehlen Beobachtungsdaten aus der Vergangenheit. Somit sind Konzepte zur Herstellung der Vergleichbarkeit von Messdaten verschiedener Methoden und/oder geeignete Auswertungsansätze erforderlich (z. B. Auswertung von Tendenzen an Einzelstandorten anstelle von Messwerten). Für im Fokus stehende Fragestellungen und damit verbundene Messgrößen sollen im Verbund Möglichkeiten

zum Umgang mit dem Problem der unzureichenden Vergleichbarkeit aufgezeigt und mit konkreten Aufgaben hinterlegt werden (vgl. Kap. 5.7.2).

Die **Aufgaben des Verbunds** bestehen vor diesem Hintergrund darin:

- ▶ zielorientierte, messnetzübergreifende Datenauswertungen zu ermöglichen, insbesondere für die bundesweite Berichterstattung im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS-Indikatoren),
- ▶ themenübergreifende, methodische Standards für künftige Datenerhebungen zu setzen und damit die Harmonisierung von Messgrößen und Methoden in Deutschland langfristig voranzutreiben (fachlich und datentechnisch),
- ▶ Instrumente und Prozesse zu etablieren, die die Aktivitäten der Messstellenbetreiber und Anwender vermehrt vernetzen (Forderung aus der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel),
- ▶ die Recherche nach und den Zugang zu vergleichbaren Messdaten aus verschiedenen Programmen auf einfache Weise zu ermöglichen,
- ▶ ausgewertete Daten bereitzustellen, die – auch wenn sie sich auf das Bundesgebiet oder Regionen beziehen – in die Arbeit der Klimakompetenzzentren der Länder einfließen können.

Im Verbund stehen künftig fortlaufend harmonisierte Stammdaten von langfristig betriebenen Untersuchungsstandorten und Angaben zu Messgrößen an einer zentralen Stelle im Internet zur Verfügung, z. B. als Dienst in einer Kartenanwendung. Über diese Stammdaten lassen sich dann Standorte recherchieren, die Zeitreihen bestimmter Messgrößen liefern.

**Nicht zu den Aufgaben** des hier beschriebenen Messnetzverbunds gehören:

- ▶ die Durchführung von Datenauswertungen für bereits etablierte Prozesse der Berichterstattung, z. B. zur Treibhausgas-Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll (bzw. Pariser Abkommen), die für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) auf Grundlage der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft durch das Thünen-Institut durchgeführt wird (z. B. UBA 2020c);
- ▶ die Steuerung oder Koordinierung von bestehenden und bereits bundesweit oder in den Ländern organisierten Messprogrammen,
- ▶ das Vorhalten redundanter Messdaten an einer zentralen Stelle; d. h. Messdaten sollen in der Hand der Daten erhebenden Stellen bleiben (im Verbund zentral vorgehalten werden ausschließlich Stammdaten und Angaben zu Messgrößen),
- ▶ eine Verpflichtung von Messnetzbetreibern für die Veränderung der dort eingesetzten Methoden; vielmehr sollen geeignete Methoden ausgewählt und Standards für künftige Messungen gesetzt werden, deren Einhaltung freiwillig ist;
- ▶ die Gewährleistung und Verbesserung der Datenqualität bestehender Messaktivitäten, denn dies liegt in der Verantwortung der erhebenden Stellen,
- ▶ die Bereitstellung von flächenhaften bzw. regionalisierten Daten zu Bodeneigenschaften und Daten zur Landnutzung und Vegetation, z. B. für die Klimamodellierung; dies kann durch die in Bund und Ländern vorliegenden bodenkundlichen Kartenwerke erreicht werden, z. B.

bundesweite Übersichtskarten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bodenflächendaten der staatlichen Geologischen Dienste.

### **Empfehlung für das weitere Vorgehen**

Beim Aufbau des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds sind Anknüpfungspunkte an andere Aktivitäten sowie die Interoperabilität zu bestehenden Datenrepositorien (z. B. UBA, Thünen, ZALF) zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung sind auf nationaler Ebene das im März 2021 neu gegründete Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMZB), das BonaRes-Forschungsprogramm mit Aktivitäten zur Vernetzung von landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen und dem am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) angesiedelten BonaRes-Datenzentrum sowie die derzeit im Aufbau befindliche nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) mit den Konsortien NFDI4Earth und NFDI4Agri.

Die beiden genannten Zentren verfolgen in Teilen ähnliche, wenn auch thematisch anders gelagerte, d. h. auf Biodiversität (auch außerhalb des Bodens) bzw. auf landwirtschaftliche Dauerfeldversuche ausgerichtete Ziele wie der Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund. Hier ist es notwendig, Synergien zu identifizieren, Möglichkeiten der Zusammenarbeit zu sondieren und Aufgaben klar zu verteilen, um Doppelarbeiten bei den Daten erhebenden und Daten auswertenden Stellen zu vermeiden.

In der NFDI sollen die Datenbestände von Wissenschaft und Forschung für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen, vernetzt und nachhaltig sowie qualitativ nutzbar gemacht werden. Der an fachlichen Fragestellungen ausgerichtete Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund bezieht auch behördliche Daten mit ein und kann perspektivisch von den technisch orientierten Entwicklungen der NFDI profitieren und diese nutzen.

Die NFDI ersetzt nicht die fragestellungsorientierte Verknüpfung von Messdaten, die Unterstützung des Erhalts von Langzeitmonitoring-Standorten und das Hinarbeiten auf eine Harmonisierung von Untersuchungskonzepten und Messmethoden.

## **5.2 Bereitschaft zur Teilnahme am Verbund**

Auf Anfragen des Umweltbundesamtes bei betreibenden und koordinierenden Stellen der in Deutschland vorhandenen bodenbezogenen Mess- und Erhebungsaktivitäten wurden bis heute von mehr als 50 Institutionen rund 9.000 Standorte in Deutschland aus 16 Messprogrammen für eine Verbundteilnahme gemeldet (siehe Abbildung 8).

Das Interesse für die Teilnahme am Verbund ist bei all jenen Institutionen vorhanden, deren Messbetrieb langfristig gesichert ist. Dazu gehören alle in Deutschland betriebenen behördlichen bodenbezogenen Messprogramme und -aktivitäten, alle überregional und international organisierten bodenbezogenen Messaktivitäten mit Standorten im Bundesgebiet. Damit erfährt die Idee des Messnetzverbunds eine sehr breite Unterstützung.

**Abbildung 8: Gemeldete Standorte für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund**

		Verbundstandorte
International	ICP Forest, Intensiv-Untersuchungen (Level II)	74
	Integrated Carbon Observation System (ICOS) – Ökosystemmessnetz	9
	Land Use and Cover Area Frame Survey (LUCAS Soil)	2.043
Bund/Länder	Bodenzustandserhebung Wald	1.873
	Bodenzustandserhebung Landwirtschaft	3.104
	Standorte des Deutschen Wetterdienstes	580
	Umweltprobenbank des Bundes – Probenart Boden	11
	Basis-Bodendauerbeobachtung	547
	Intensiv-Bodendauerbeobachtung	79
	Monitoringprogramme der Länder: Humus NRW/BY, MUB BW	428
	Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche	5
Forschung	Feldlysimeter: TERENO SoilCan, Colbitz, Britz	15
	Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung	301
	Erosionsmessflächen	10
	<b>Summe</b>	<b>9.079*</b>

■ extensiv ■ intensiv

\* einzelne Standorte gehören zu mehreren Programmen (z.B. BDF, Level II), so dass die Gesamtsumme Verbundstandorte tatsächlich etwas geringer ist

Stand: Oktober 2020

### 5.3 Fragestellungen des Verbunds

Die Konzeption des Verbunds erfolgte mit dem Fokus auf den Themen Bodenbiologie, organische Substanz, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion. Bei diesen Themen sind klimawandelbedingte Veränderungen des Bodenzustands am ehesten zu erwarten bzw. werden diskutiert (Ergebnis einer Umfrage im Ständigen Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz LABO-BOVA 2012).

Mit Unterstützung des Verbunds soll beantwortet werden, in welchem Maß sich in Deutschland unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung

- ▶ die **Bodenlebensgemeinschaft (Bodenbiologie)**,
- ▶ die **organische Bodensubstanz**,
- ▶ **bodenhydrologische Kenngrößen** (insbesondere Bodenfeuchte) sowie
- ▶ das Ausmaß von **Bodenerosion** durch Wasser und Wind

verändern. Die vier Themen wurden seit dem Jahr 2017 in zwei Forschungsvorhaben vertiefend bearbeitet (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A des vorliegenden Berichts).

#### Resümee aus den Forschungsarbeiten

Im Ergebnis wird eine, wenn auch nicht vollständige Flächenabdeckung der Bundesrepublik mit für den Verbund geeigneten Messstandorten für die Themen Bodenbiologie, organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt festgestellt.

Für Bodenerosion fehlen Messaktivitäten und Schadensfallkartierungen in weiten Teilen des Bundesgebietes. Es liegen Kartieranleitungen zur Erfassung aktueller Erosionsformen vor (siehe DWA 2021); dennoch fehlen länderübergreifende Standards zur flächenhaften Erfassung von Schadensereignissen (vgl. UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A des vorliegenden Berichts).

Für die Themen Bodenbiologie, organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt kommen in den bundesweiten bodenbezogenen Messprogrammen verbreitet standardisierte, d. h. in den jeweiligen (Teil-)Programmen einheitlich festgelegte Erhebungsmethoden auf der Basis genormter Verfahren (DIN/ISO) zur Anwendung. Die Standardisierung lässt dabei häufig Gestaltungsspielraum zu, z. B. um standörtliche Gegebenheiten berücksichtigen zu können, oder auch weil ggf. nicht alle Arbeitsschritte und Aspekte der Datenerhebung einheitlich festgelegt sind (z. B. Messtiefen, Zeitpunkt von Messungen im Jahr oder zu erhebende Begleitgrößen). Notwendig ist daher einerseits eine detaillierte Dokumentation der angewendeten Erhebungsmethoden und andererseits die Formulierung ergänzender Qualitätskriterien für die Datenerhebung (siehe Kap. 5.7.2).

Bundesweit abgestimmte Verfahren zur Ableitung von Indikatoren und Referenzwerten sowie zur Bewertung von Veränderungen fehlen bisher noch für alle Verbundthemen.

Die Beantwortung der o.g. Fragen ist somit für drei Themen durch eine punktuelle und gezielte Anpassung und Weiterentwicklung bestehender bodenbezogener Messaktivitäten und die Entwicklung geeigneter Auswertungskonzepte erreichbar (Bodenbiologie, organische Bodensubstanz, Bodenwasserhaushalt). Insbesondere für die Themen Bodenbiologie und Bodenerosion, aber auch für organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt, die heute auf wesentlich längere und umfangreichere Monitoringerfahrungen zurückgreifen können, sind darüberhinausgehende Aufgaben der methodischen Standardisierung von Datenerhebung und Methodendokumentation zu bewältigen.

Die für eine Teilnahme gemeldeten Messstandorte erfüllen zum aktuellen Zeitpunkt die für den Verbund formulierten Qualitätskriterien in unterschiedlichem Maß (siehe Kap. 5.5), so dass bestimmte Defizite reduziert werden müssen, um bundesweite und überregionale Aussagen treffen zu können (siehe Kap. 5.7.2.5).

Die Berichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) basiert auf Indikatoren, die in einem Entwicklungs- und Abstimmungsprozess mit behördlichen Vertreterinnen und Vertretern unterschiedlicher Ressorts auf Bundes- und teilweise auch auf Landesebene sowie mit nichtbehördlichen Fachexpertinnen und -experten erarbeitet wurden (UBA 2019). Um den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund auf eine Berichterstattung, wie z. B. im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) auszurichten, ist ein Bezug zu Indikatoren herzustellen. Ideen für die künftige Weiterentwicklung der DAS-Berichterstattung für Böden werden in Kapitel 5.8 vorgestellt.

## 5.4 Grundprinzipien

Aufbau und Betrieb des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds sollen folgenden Grundprinzipien folgen:

- ▶ Der Verbund versteht sich als ein **Netzwerk** der Bodendaten erhebenden Stellen.
- ▶ Die Teilnahme am Verbund erfolgt auf **freiwilliger Basis** und ist **kostenfrei**.
- ▶ Er wird aus **bestehenden, langfristig untersuchten Messstandorten** aufgebaut, deren Weiterbetrieb nach aktuellem Stand gesichert ist.
- ▶ Im Verbund sind **Messgrößen festgelegt**, die es ermöglichen, bundesweit Veränderungen des Bodenzustands unter bekannten Klima-, Nutzungs- und Bewirtschaftungsbedingungen zu bewerten („Zielgrößen“). Anhand der Definition dieser Zielgrößen können sich

Monitoring- und Erhebungsprogramme auch auf zusätzliche Fragen ausrichten und bei Programm-erweiterungen entsprechend orientieren.

- ▶ Der Verbund nimmt alle Standorte auf, die **von ihren Betreiberinnen und Betreibern als geeignet** angesehen werden und **allgemeine sowie themenspezifische Qualitätskriterien** erfüllen (siehe Kap. 5.5).
- ▶ **Neu eingerichtete Langzeit-Überwachungsstandorten** können in den Verbund aufgenommen werden.
- ▶ Eine **Kooperationsvereinbarung** regelt die Aufgaben und Zuständigkeiten der Beteiligten sowie den Datenaustausch, sofern letzteres über bestehende Regelungen hinaus erforderlich ist.
- ▶ Aus der Gesamtheit der Verbundstandorte werden durch den Verbundbetreiber nach abgestimmten Kriterien „**Kernstandorte**“ benannt, die hinsichtlich ihrer Messaktivität in besonderem Maß für eines oder mehrere Verbundthemen geeignet sind, z. B. aufgrund von langen Zeitreihen für Zielgrößen. Sie kommen insbesondere für überregionale und messnetzübergreifende Auswertungen in Frage.
- ▶ Der Aufbau des Verbunds, die Entwicklung von Standards für geeignete Messungen und Erhebungen sowie der Betrieb des Verbunds erfolgen unter **Beteiligung** von Vertreterinnen und Vertretern der Daten erhebenden Stellen sowie von Vertreterinnen und Vertretern der Datennutzung verschiedener Fachbereiche.
- ▶ Eine zentrale Stelle („**Verbundbetreiber**“) betreibt den Verbund und seine Internetseite, dient als Kontaktstelle, verwaltet ein Verzeichnis der Verbundstandorte und führt Datenauswertungen auf nationaler Ebene durch. Diese Aufgabe könnte ein von BMU/UBA angedachtes „Nationales Bodenmonitoringzentrum“ in enger Kooperation mit anderen koordinierenden und Daten erhebenden Stellen übernehmen.
- ▶ Der Verbundbetreiber veröffentlicht keine Messwerte (Ausnahme: Öffentlichkeitsarbeit, siehe unten) und führt keine Messwerte zu einem zentralen und fortlaufend geführten Datenbestand zusammen.

## 5.5 Qualitätskriterien für Verbundstandorte

Um Standorte in den Verbund aufzunehmen, müssen folgende Kriterien erfüllt sein (**obligatorische** Kriterien):

- ▶ Am Standort werden **Zielgrößen** für die Fragestellung des Verbunds „*In welchem Maß verändern sich Bodenzustand und Bodenqualität unter den aktuellen Bedingungen bzw. unter dem Einfluss von Klimawandel und Bewirtschaftung?*“ durch Messungen erfasst (siehe Tabelle 8).
- ▶ Die Messdaten der Ziel- und Begleitgrößen werden **dauerhaft in definierten Intervallen und auch künftig** erhoben und weisen **keine maßgeblichen Messlücken** auf. Wenn Messlücken vorliegen, sind diese dokumentiert.
- ▶ Der Standort und dessen Messdaten sind **repräsentativ** für eine jeweils definierte **Bezugsfläche** (z. B. Bezugsquadrant eines Rasters und/oder Landschafts- und Bodeneinheit) und **Bezugstiefe** im Boden. Abgesichert wird dies durch ein geeignetes Messkonzept bzw.

Probenentnahmeschema, hinreichende Parallel-Messungen in Feld und Labor sowie eine fachgerechte Qualitätssicherung.

- ▶ Die **Mess- und Erhebungsmethoden** sind beim Betreiber des Standorts vollständig dokumentiert (entweder für jeden Einzelstandort oder für alle Standorte eines Programms).
- ▶ Für den Standort können **Stammdaten** („Metadaten“) für das Verzeichnis der Verbundstandorte zur Verfügung gestellt werden: Lagekoordinaten (evtl. gerundet) mit Bezugssystem, Höhe über NN, Ausgangsgestein, Bodentyp, Bodenart, Humusform, Nutzung, Vegetation, Bewirtschaftung, mittlere Lufttemperatur, mittlerer Niederschlag<sup>16</sup>.
- ▶ Für den Standort können **Angaben zu Messgrößen** für das Verzeichnis der Verbundstandorte zur Verfügung gestellt werden: Messhäufigkeit, Termine der Messungen, Messbeginn, Methode, Probenahme- und Messgerät, Qualitätsrelevante Eigenschaften, Unsicherheiten, Mess- oder Entnahme- bzw. Bezugstiefe, Proben-/Messschema vertikal, Art der Proben, Probenvorbehandlung, Details der Messmethode, ggf. Bemerkungen zur Messgröße.
- ▶ Beim Betreiber des Standortes liegt eine **bodenkundliche Profilbeschreibung** gemäß bodenkundlicher Kartieranleitung der Geologischen Dienste (zzt. KA 5) oder World Reference Base for Soil Resources (WRB) inkl. Angaben zu Horizontmächtigkeiten vor.
- ▶ Die Messdaten können für Zwecke des Klimaschutzes und der Klimafolgenforschung **freigegeben** werden.
- ▶ Die Messdaten beim Betreiber des Standortes sind **fehlerbereinigt** und **qualitätsgesichert** (vgl. Definition Mindeststandards in Kap. 5.7.2.1).
- ▶ Die Messdaten werden beim Betreiber des Standortes **elektronisch** gespeichert.

Darüber hinaus ist es **wünschenswert**, dass Verbundstandorte die folgenden Kriterien erfüllen:

- ▶ Für den Standort können neben den oben aufgeführten Stammdaten auch **Hangneigung, Exposition, Jahresmittel Sonnenscheindauer und klimatische Wasserbilanz** zur Verfügung gestellt werden.
- ▶ Es liegen bereits **Messungen aus der Vergangenheit** vor.<sup>17</sup> Jedoch werden auch neu eingerichtete Messstandorte oder hinzugekommene Messgrößen im Verbund berücksichtigt.
- ▶ Die Standorte sind im Eigentum der Betreiberinnen und Betreiber oder eine **langfristige Verfügbarkeit** ist vertraglich abgesichert.
- ▶ Ein eventueller **Schutzstatus** der Fläche ist bekannt.
- ▶ Die Methodendokumentation der Beprobungen und Messungen am Standort ist kompatibel mit dem **HFA- und/oder BDF-Methoden-Code** (GAFA 2014, UBA 2011).
- ▶ Auswertungsrelevante **Hinweise zum Messbetrieb**, z. B. zu Nutzungsänderungen, liegen vor.

---

<sup>16</sup> Witterungs- und Klimadaten können, wenn diese nicht selbst von den Messnetzbetreibenden erhoben werden, beim Deutschen Wetterdienst (DWD, 1 × 1 km-Raster Hydromet) bezogen werden.

<sup>17</sup> Dies ist wichtig, da mit neu gestarteten Messreihen klimabedingte Veränderungen, die bereits in der Vergangenheit eingesetzt haben, ggf. nicht erfasst werden können.

- ▶ Die **Flächennutzung vor Inbetriebnahme** des Standortes ist bekannt, so dass langfristige Auswirkungen der Nutzungshistorie bis in den Messzeitraum erkannt werden können.
- ▶ Messdaten werden mit einem **Bezug zu definierten Tiefenstufen** erhoben. Wenn die Horizontierung des Bodenprofils nicht diesen Tiefenstufen entspricht, werden nach Möglichkeit zusätzlich Messdaten mit Bezug auf Bodenhorizonte erhoben.

**Tabelle 8: Im Projekt definierte Zielgrößen des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds**

<b>Bodenbiologie</b>	Tiergruppe*: Artenzahl, Individuenzahl, Biomasse Mikrobielle Biomasse, mikrobielle Basalatmung, metabolischer Quotient, $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Quotient N-Mineralisation, Zelluloseabbau, Arginin-Ammonifikation, Phospholipidfettsäuren (mikrobielle Gemeinschaftsstruktur, Pilz/Bakterienverhältnis), Aktivität Bodenenzyme** Molekularbiologische Parameter (Untersuchungen mittels DNA-Barcoding): Allgemeine Bodenpilze, arbuskuläre Mykorrhizapilze, Bodenbakterien
<b>Organische Substanz</b>	Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) Gehalt des organischen Gesamtkohlenstoffs (SOC) Vorrat des organischen Gesamtkohlenstoffs (für eine bestimmte Mächtigkeit/Horizont oder idealerweise für das ganze Bodenprofil) Gesamtstickstoffgehalt (TN) Qualität der organischen Substanz (z. B. Fraktionen des organischen Kohlenstoffs, C/N-Verhältnis)
<b>Bodenwasserhaushalt</b>	Bodenfeuchte Sickerwassermenge Grundwasserstand (Moore)
<b>Bodenerosion</b>	Erosionsform Menge des Bodenabtrags Menge des Bodenauftrags Menge des Oberflächenabflusses***

Hinweis: Geeignete Erhebungsmethoden sind im Verbundbetrieb festzulegen, z. B. in einem Verbund-Manual (siehe Kap. 5.7.2.1). Geeignete Methoden sind in UBA (2020) und in Kap. 4 / Teil A aufgeführt.

\* z. B. Collembola, Oribatida, Gamasina, Lumbricidae, Enchytraeidae, Nematoda

\*\* z. B. Arylsulfatase, Beta-Glucosidase, Katalase, Protease, Dehydrogenase, Cellulase

\*\*\* ausschließlich auf Erosionsmessflächen messbar; nicht im Rahmen von Erosionskartierungen

Im Rahmen der Bearbeitung der beiden F+E-Vorhaben zur Konzeption und Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A des vorliegenden Berichts) wurde davon ausgegangen, dass die Betreiberinnen und Betreiber jeweils für alle gemeldeten Standorte die obligatorischen Qualitätskriterien einhalten, da diese in den Anfragen entsprechend formuliert waren.

Über die allgemeinen Qualitätskriterien hinaus werden für die Verbundthemen Anforderungen an zu erhebende Begleitgrößen, Bewirtschaftungs- und Klima-Parameter sowie an die Datenerhebung formuliert (siehe Kap. 4 / Teil A des vorliegenden Berichts) für Bodenbiologie und organische Substanz sowie UBA (2020) für Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion). Die Formulierung von themenspezifischen Qualitätskriterien erfolgte im Rahmen einer Eignungsbewertung von Messprogrammen und -standorten. Diese basiert auf Angaben der Betreiberinnen und Betreiber zum Messbetrieb an den einzelnen Standorten.

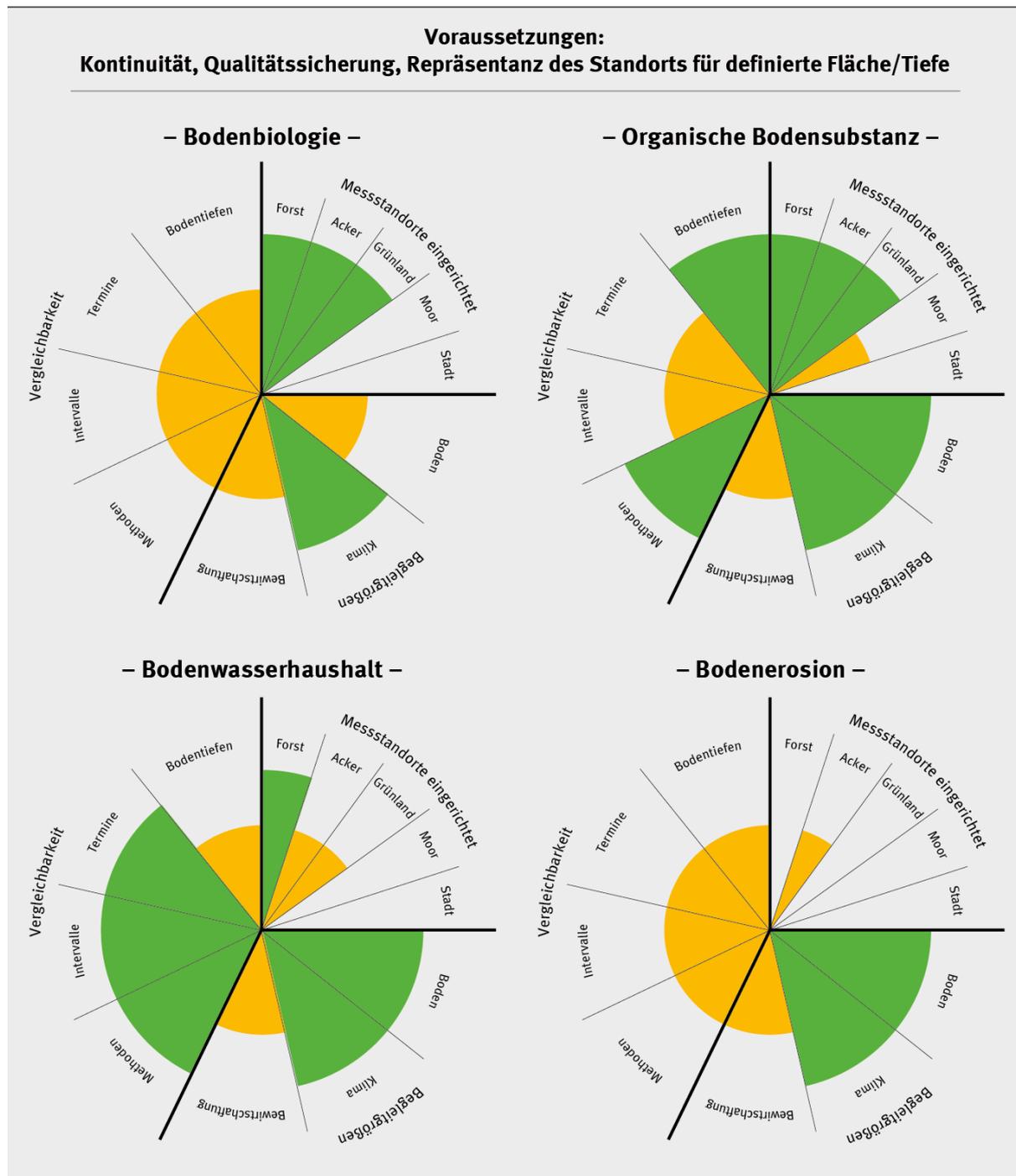
Dabei zeigte sich, dass z. T. nur eine geringe Anzahl der für den Verbund gemeldeten Messstandorte alle obligatorischen Kriterien erfüllt (z. B. Bodenerosion, Bodenbiologie). Um dennoch die bestehenden Standorte zu nutzen und eine künftige Weiterentwicklung zu unterstützen, wurden auch Standorte als für den Verbund geeignet bewertet, die nicht alle allgemeinen Qualitätskriterien erfüllen (siehe Kap. 4 / Teil A).

Trotz eingehender Formulierung von Qualitätskriterien und erfolgter Standortprüfung ist es prinzipiell dem Datennutzer überlassen, eine abschließende Bewertung von auszuwertenden Messdaten im Hinblick auf eine spezifische Fragestellung durchzuführen.

Die allgemeinen und themenspezifischen Qualitätskriterien sind bei den bestehenden Messaktivitäten, die im Rahmen der beiden F+E-Vorhaben zur Verbundkonzeption (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A) Standorte für die Teilnahme am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemeldet haben, zum aktuellen Zeitpunkt in unterschiedlichem Maß erfüllt. Die Abbildung 9 veranschaulicht dies für die vier Verbundthemen. Grundsätzlich können allen Standorten Daten von 1 × 1-km-Hydromet-Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2020) zugewiesen werden, sodass Auswertungen auf Grundlage homogener Klimadaten möglich sind.

Die Tabelle 9 ordnet zu, welche Messprogramme mit ihrem aktuell praktizierten Betrieb für die vier Verbundthemen geeignet und Gegenstand der in Abbildung 9 dargestellten Eignungsbewertung sind. Aus dieser Bewertung leitet sich der in Kapitel 5.7.2 formulierte Bedarf zur Weiterentwicklung und Anpassung der Messaktivitäten ab.

**Abbildung 9: Verbundstandorte aus bestehenden bodenbezogenen Messaktivitäten nach Nutzung und Erfüllung von Qualitätsanforderungen**



**Messstandorte eingerichtet:**

- in mehreren Bundesländern
- in geringer Anzahl

**Begleitgrößen und Vergleichbarkeit:**

- an weitgehend allen Standorten erfüllt
- an einem Teil der Standorte erfüllt

Hinweis: Die in der Abbildung berücksichtigten Messprogramme gehen aus Tabelle 9 hervor.

**Tabelle 9: Programme mit geeigneten Verbundstandorten für die fortlaufende Messung von Zielgrößen**

Messprogramm	Bodenbiologie	Organische Bodensubstanz	Bodenwasserhaushalt	Bodenerosion
Biodiversitäts-Exploratorien	X	X	-	-
Biologisches Messnetz Baden-Württemberg	X	X	-	-
Boden-Dauerbeobachtung	X	X	X	X
Bodenfeuchte-Messstationen des DWD	-	-	X	-
Bodenzustandserhebung Landwirtschaft	-	X	-	-
Bodenzustandserhebung Wald	-	X	-	-
Feldlysimeter*	-	-	X	-
Humusmonitoring-Programme**	-	X	-	-
ICOS-D	-	X	-	-
ICP Forests Level II	-	X	X	-
Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche	-	X	-	-
LUCAS Topsoil	-	X	-	-
Schadensfallabhängige Erosions-Kartierungen***	-	-	-	X

\* Großlysimeter Colbitz der NW-FVA, Lysimeter des Programms TERENO SoilCan, Versuchstation Britz des Thünen Instituts für Waldökosysteme

\*\* Bayern, Nordrhein-Westfalen

\*\*\* Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, ggf. weitere (z. B. Hessen)

Teile der für den Verbund in Frage kommenden Programme verfügen bereits über bundesweit einheitliche Erhebungsstandards (z. B. ICP Forests Level II, BZE Wald und Landwirtschaft, LUCAS Soil). Darauf aufbauend sind Mindeststandards für die Datenerhebung (Messgrößen, Probenahme/Messtechnik) im Verbund für alle relevanten Fragestellungen eines Klimafolgen-Bodenmonitorings gemeinsam mit den beteiligten Akteuren zu definieren. Die dafür erforderlichen, ressortübergreifenden Abstimmungsprozesse bedürfen eines Mandats und müssen außerhalb von F+E-Vorhaben stattfinden.

## Berücksichtigung der Repräsentativität

Für die Auswertungen von Messdaten aus dem Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund steht zunächst die Frage im Vordergrund, inwieweit eine Gruppe von Standorten oder ein Messprogramm auf der räumlichen Ebene repräsentativ ist. Um einzuschätzen, ob die vorhandenen bodenbezogenen Messaktivitäten für Aussagen über die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland ausreichen, erfolgte in den beiden F+E-Vorhaben zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A) eine Betrachtung der Anzahl von Messstandorten für die flächenmäßig relevanten Nutzungsarten von unversiegelten Böden (Acker, Grünland, Forst, Moore). Darüber hinaus wurden anhand der geographischen Lage der Standorte Lücken in der Fläche identifiziert. Eine weitergehende Beurteilung der Flächenrepräsentativität ist für die vier untersuchten Themen noch nicht erfolgt und sollte Bestandteil jeder Datenauswertung im Verbundbetrieb sein.

Weiterhin stellen sich die Fragen: Wofür ist ein Standort bzw. eine Untersuchungsfläche repräsentativ? Wofür sind die dort erhobenen Messdaten repräsentativ? Kriterien für die Beurteilung der Repräsentativität können mehreren Bezugsebenen zugeordnet werden:

- a) Räumliche Repräsentanz-Ebene, z. B. Naturraum, Klimaraum, Nutzungsart, Landesfläche
- b) Zeitliche Repräsentanz-Ebene, z. B. Messzeiträume, Messintervalle
- c) Sachliche Repräsentanz-Ebene, z. B. Grundwasserverhältnisse, Humus (z. B. Moor/Mineralboden), Hauptbodenart, Bewirtschaftung (z. B. wendende/nichtwendende Bodenbearbeitung), Biotoptyp
- d) Methodische Repräsentanz-Ebene, z. B. Verfahren zur Bestimmung einer Messgröße, Bezugstiefe im Boden

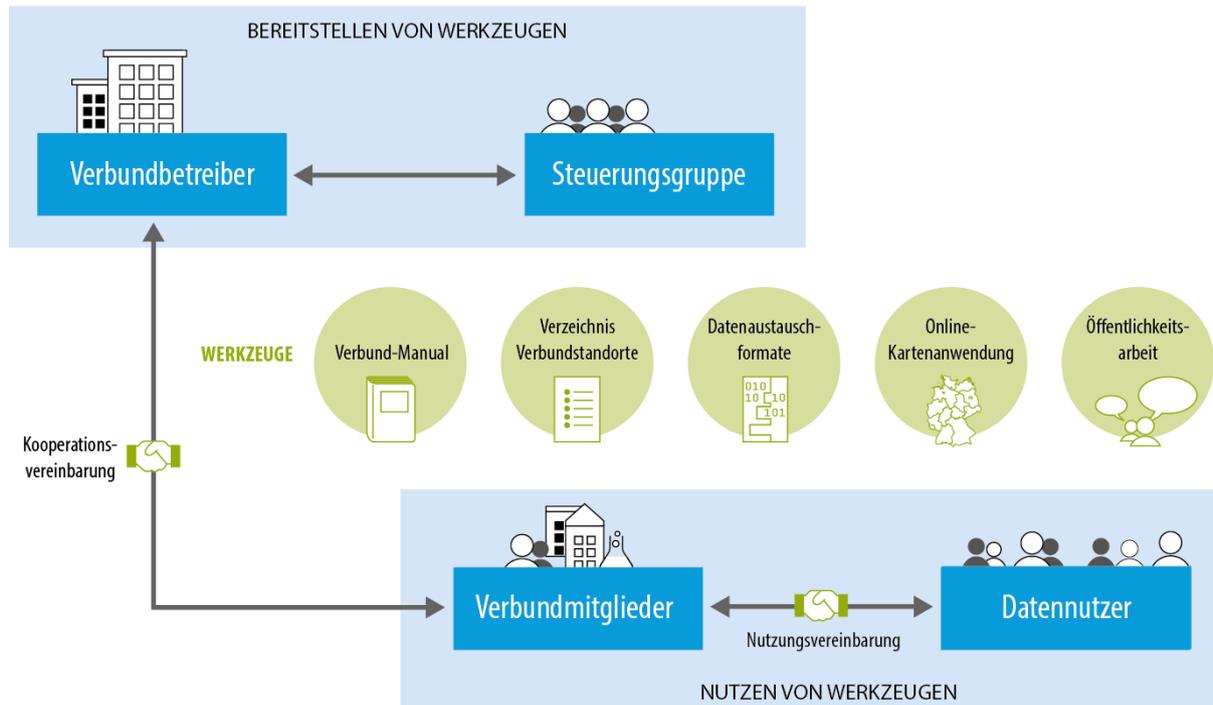
Angaben zu Repräsentanz-Kriterien, wie oben beispielhaft genannt, sind somit für die Beurteilung der Repräsentativität von Standorten und deren Messdaten erforderlich. Vor jeder Datenauswertung sind vom Datennutzer die für die jeweilige Fragestellung anzusetzenden Kriterien für die Repräsentativität festzulegen. Hierzu sind Ansätze notwendig, die verschiedene auf die Böden einwirkenden Faktoren integrieren.<sup>18</sup> Ziel jedes Datennutzers sollte es sein, für Auswertungen eine Repräsentativität auf allen Bezugsebenen zu erreichen, die sich aus der Anwendung der Repräsentativitätskriterien ergibt. Ist dies nicht erreichbar, weil z. B. Messstandorte mit Daten geeigneter Methoden und Messintervallen in bestimmten Teilräumen fehlen, sind Defizite in der Flächenabdeckung durch Hinzuziehen weiterer bestehender oder neuer Messstandorte zu beheben, um eine Repräsentativität herzustellen, oder die Defizite sind zumindest zu benennen. Neben den Repräsentanz-Kriterien ist vor jeder Auswertung festzulegen, welcher Anspruch an die Aussagesicherheit der Ergebnisse anzusetzen ist. Hier spielen Grundsätze der Statistik (z. B. Stichprobenumfang bzw. Anzahl von Parallelmessungen), der räumlichen Variabilität der untersuchten Zielgröße, der analytischen Genauigkeit, aber auch die Machbarkeit (Kosten) eine Rolle.

<sup>18</sup> Römbke et al. (2014) nutzen z. B. die Biotoptypen als Bewertungsgrundlage in einer Repräsentativitätsanalyse für die Bodenlebensgemeinschaft auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland zum Zweck des Monitorings gentechnisch veränderter Organismen (GVO). Die Biotoptypen werden dort mit anderen Größen (z. B. Klimazone, ökologische Raumeinheit bzw. Nutzungsform) kombiniert. Die Autorinnen und Autoren stellten auf diese Weise eine gute Repräsentanz der BDF in Deutschland hinsichtlich Ackerstandorten und der Abbildung ökologischer Raumeinheiten bzw. Naturräumen fest. Andere Nutzungsarten standen hier nicht im Fokus. Zur Beurteilung der Repräsentativität für Biotoptypen ist eine exakte Biotoptypansprache für jede Einzelfläche erforderlich.

## 5.6 Organisationsstruktur des Verbunds

Die vorgeschlagene Organisationsstruktur des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds beinhaltet die beteiligten Akteurinnen und Akteure und Gremien sowie fachliche, technische und organisatorische Werkzeuge (siehe Abbildung 10). Akteurinnen und Akteure und Gremien sind in Kapitel 5.6.1, die Werkzeuge in Kapitel 5.6.2 beschrieben.

**Abbildung 10: Entwurf der Organisationsstruktur des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds**



### 5.6.1 Beteiligte und Gremien

Akteurinnen und Akteure des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds sind der Verbundbetreiber, die Steuerungsgruppe, die Verbundmitglieder (Daten erhebende Stellen) und die Datennutzerinnen und -nutzer. Im Folgenden werden die Aufgaben dieser Akteursgruppen umrissen.

#### 5.6.1.1 Aufgaben des Verbundbetreibers

Um den Messnetzverbund in die Praxis umzusetzen und langfristig zu betreiben, sind Aufgaben von einer Institution auf nationaler Ebene zu übernehmen. BMU/UBA denken dafür die Einrichtung eines „Nationalen Bodenmonitoringzentrums“ an. Kooperationsmöglichkeiten mit anderen koordinierenden, Daten erhebenden bzw. Daten bereitstellenden Stellen auf Bundesebene (Thünen Institut, Nationales Monitoringzentrum zur Biodiversität, BonaRes-Datenzentrum, Nationales Umweltinformationszentrum des BMU) sollten geprüft werden, sofern eine Zusammenarbeit und Abstimmung nicht hinreichend über die Besetzung der Steuerungsgruppe gewährleistet werden kann.

Im Sinne der angestrebten belastbaren, bundesweiten Aussagen zum Bodenzustand und den u. a. aus dem Klimawandel erwarteten Veränderungen gehört es zu den Aufgaben des Verbundbetreibers,

- a) die laufenden und in Planung befindlichen bodenbezogenen Monitoring-Aktivitäten mit Potenzial für Fragen der Klimafolgen durch die Zusammenarbeit mit den datenerhebenden Stellen (z. B. BonaRes, JRC, Thünen, Länder) zu vernetzen und
- b) die Harmonisierung von Erhebungs- und Analysemethoden für relevante Zielgrößen voranzutreiben und zu unterstützen.

Zu den Aufgaben gehören somit verwaltende und organisatorische Arbeiten sowie Datenauswertungen, Berichterstattung und Erfolgskontrolle. Diese Arbeiten erfordern ein Mandat, persönliche Kapazitäten und ein Budget für die Erledigung der Aufgaben.

Aufgaben des Verbundbetreibers **in der ersten Betriebsphase** sind:

Praktische und organisatorische Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds durch:

- ▶ Einrichtung einer Geschäftsstelle und Initiieren der Gründung der Steuerungsgruppe,
- ▶ Vorlage einer Kooperationsvereinbarung,
- ▶ Erstellung des Verzeichnisses der Verbundstandorte und der Kartenanwendung,
- ▶ Vorschlag von Qualitätskriterien und Mindeststandards (zur Abstimmung mit Steuerungsgruppe) und Bereitstellung von Prüfroutinen,
- ▶ Vorschlag von Kernstandorten anhand der Qualitätskriterien des Verbunds (zur Abstimmung mit der Steuerungsgruppe),
- ▶ Erstellung des Verbund-Manuals mit Qualitätskriterien für die Datenerhebung und Standards für den Datenaustausch (in Abstimmung mit der Steuerungsgruppe),
- ▶ Bereitstellung einer Muster-Vereinbarung für die Nutzung von Messdaten, sofern über bestehende Regelungen bei den Verbundmitgliedern erforderlich (Nutzungsvereinbarung für die Verbundmitglieder),
- ▶ Bereitstellung von Austauschformaten für Stammdaten und Angaben zu Messgrößen,
- ▶ Aufbau von Partnerschaften mit Dritten,
- ▶ Start der Öffentlichkeitsarbeit für den Verbund.

**Ständige Aufgaben** des Verbundbetreibers während des Betriebs sind:

- ▶ Durchführung von bundesweiten Datenauswertungen oder Begleitung von entsprechenden Projekten sowie Präsentation und Verwertung der Ergebnisse,
- ▶ Fortschreibung des Verbund-Manuals und Weiterentwicklung der Verbund-Konzeption in Abstimmung mit der Steuerungsgruppe,
- ▶ Benennung von weiterem Forschungsbedarf für die Verbundfragestellungen und Initiieren von entsprechenden Projekten,
- ▶ Betrieb der Internetseite und fungieren als Kontaktstelle für Daten erhebende Stellen und Datennutzer,
- ▶ Pflege von Partnerschaften mit Dritten,
- ▶ Öffentlichkeitsarbeit für den Verbund,

- ▶ Pflege des Verzeichnisses der Verbundstandorte durch Datenaustausch mit den erhebenden Stellen, Aufnahme neu gemeldeter Standorte, Erstellung und Pflege der Kartenanwendung,
- ▶ Beobachtung neu entstehender Messaktivitäten für alle Verbundthemen (Bodenbiologie, organische Bodensubstanz, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion) und ggf. Anfrage für eine Aufnahme,
- ▶ Gewährleistung des Einhaltens der aus dem Datenschutz resultierenden Anforderungen (Datenschutzgrundverordnung),
- ▶ Bereitstellung von Hintergrundinformationen zur Klimavulnerabilität in Deutschland,
- ▶ Erfolgskontrolle und Berichterstattung zum Stand der Zielerreichung an die Steuerungsgruppe, z. B. anhand des Erkenntnisgewinns aus durchgeführten Datenauswertungen.

#### **5.6.1.2 Aufgaben der Steuerungsgruppe**

Eine Steuerungsgruppe ist für die Umsetzung und den Betrieb des Messnetzverbunds unbedingt erforderlich, um die Interessen der Beteiligten zu kennen und bei Entscheidungen zu berücksichtigen. Da die beteiligten Akteure des Verbunds verschiedenen Ressorts und Verwaltungsebenen zugeordnet sind, kann eine Steuerung auf mehreren Ebenen sinnvoll und notwendig sein (wie auch vorgesehen im Nationalen Monitoringzentrum zur Biodiversität NMZB in BMU 2021), z. B. auf ministerieller Ebene sowie durch die nachgeordneten Fachbehörden des Bundes und auch unter Beteiligung von Länderbehörden und weiteren Fachinstitutionen aus Forschung und Wirtschaft (Daten erhebende Stellen, potenzielle Datennutzerinnen und -nutzer, Vertreterinnen und Vertreter verwandter Aktivitäten wie Thünen-Institut, BonaRes, NMZB, NFDI).

Zu empfehlen ist ein steuerndes Gremium mit Entscheidungsbefugnissen (und nicht ein rein beratendes Gremium/Fachbeirat), um die z. T. konträren Interessen verschiedener Akteurinnen und Akteure adäquat berücksichtigen zu können und die Akzeptanz für diesen Verbund zu erhöhen.

Die Aufgaben der Steuerungsgruppe sind:

- ▶ fachliche Beratung des Verbundbetreibers,
- ▶ Abstimmung und Festlegung der Ziel- und Begleitgrößen, der Qualitätskriterien (Mindeststandards), der Anforderungen an Kernstandorte und des Datenaustausch-Prozesses (ggf. Einrichtung von Untergruppen und Benennung von Themenverantwortlichen),
- ▶ Abstimmung und Verabschiedung des Verbund-Manuals,
- ▶ Steuerung der Weiterentwicklung und des fachlichen Ausbaus der Verbund-Konzeption,
- ▶ Abstimmung und Verabschiedung der Kooperationsvereinbarung zur Mitarbeit im Verbund und der Nutzungsvereinbarung für Messdaten (sofern letztere erforderlich ist),
- ▶ Formulierung von Empfehlungen für den Verbundbetrieb anhand der Ergebnisse der Erfolgskontrolle,
- ▶ Wirkung als Multiplikatoren für die Verbundteilnahme und Datennutzung,
- ▶ Einbringen von Synergien mit anderen Aktivitäten.

### 5.6.1.3 Aufgaben der Verbundmitglieder (Daten erhebende Stellen)

Die Verbundmitglieder, d. h. die Daten erhebenden Stellen, besitzen und verwalten die Messdaten. Sie erklären sich bereit, Messdaten oder deren Auswertungsprodukte für weitere Auswertungen zu Fragen des Klimafolgen-Bodenmonitorings an Datennutzer zur Verfügung zu stellen, sofern dies nicht z. B. durch einen eigenen Forschungsvorbehalt oder Datenschutzbelange eingeschränkt ist. Die Mitglieder profitieren von einer vermehrten Nachfrage an Erhebungs- und Monitoring-Daten, indem deren Wertschöpfung erhöht wird und eine langfristige Fortführung von Messungen auch durch die zusätzliche Nutzung für bundesweite Fragen begründet werden kann. Zudem ergibt sich ein Nutzen aus den im Verbund gesetzten methodischen Standards für die methodische Weiterentwicklung in einzelnen Programmen und durch die Vernetzung mit anderen Verbundmitgliedern im Rahmen von regelmäßigen Online-Veranstaltungen für Austausch und Diskussion.

Ihre Aufgaben im Verbund sind:

- ▶ Unterzeichnung einer Kooperationsvereinbarung zwischen Daten erhebenden Stellen und Verbundbetreiber, welche die Aufgaben beider Parteien festlegt,
- ▶ regelmäßige Aktualisierung definierter Stammdaten (Metadaten) und Angaben zu Messgrößen für das Verzeichnis der Verbundstandorte und Meldung an den Verbundbetreiber,
- ▶ Erfüllen der obligatorischen Anforderungen an die Datenerhebung (allgemeine Qualitätskriterien vgl. Kap. 5.5 sowie themenspezifische Qualitätskriterien vgl. UBA (2020) und Kapitel 4 / Teil A sowie an zu meldende Stammdaten und Angaben zu Messgrößen für Standorte,
- ▶ Bereitstellung von qualitätsgesicherten Messdaten oder deren Auswertungsprodukten auf Anfrage an Nutzer, ggf. Abschluss von Nutzungsvereinbarungen,
- ▶ Mitteilungen in kontinuierlichen Abständen zu eingegangenen Anfragen von Datennutzerinnen und -nutzer an den Verbundbetreiber zur Erfolgskontrolle, nach Möglichkeit automatisiert (Das Berichtsprozedere wie der Umfang und die Inhalte sollten in der Steuerungsgruppe abgestimmt werden.),
- ▶ wünschenswert: Bereitstellung exemplarischer Messergebnisse für die Öffentlichkeitsarbeit (z. B. Auswertungsergebnisse an einzelnen Standorten).

### 5.6.1.4 Aufgaben und Verpflichtungen der Datennutzerinnen und -nutzer

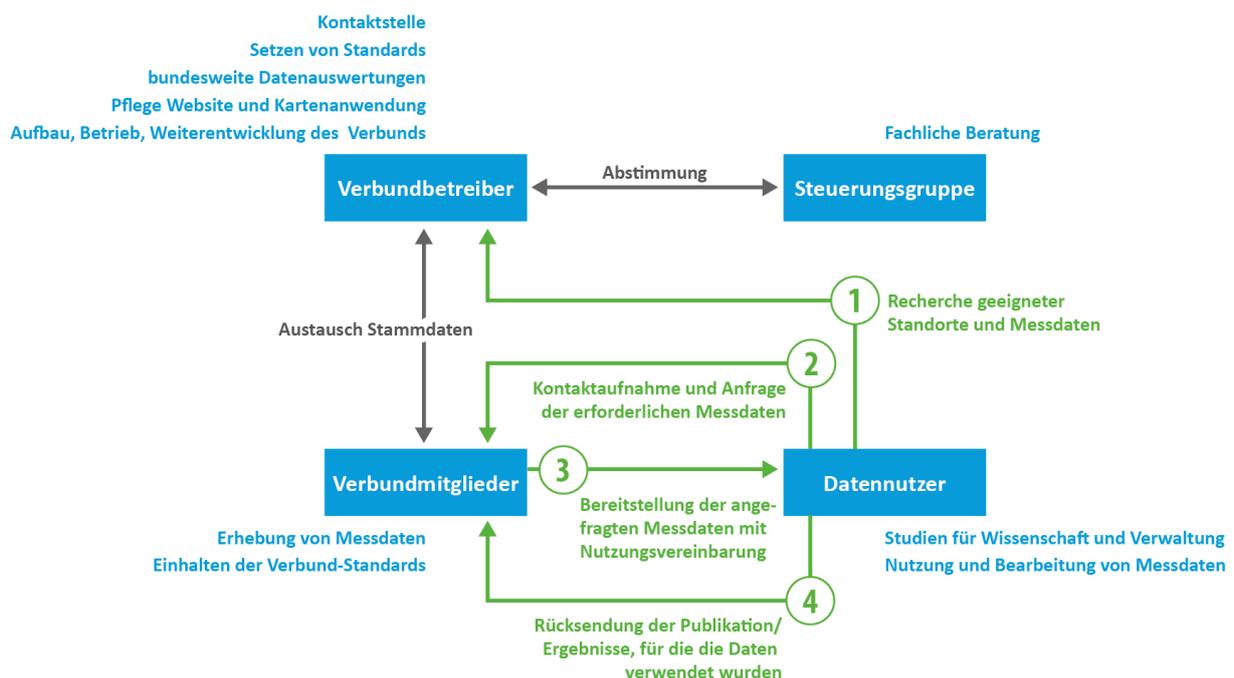
Die Nutzung von Daten des Verbunds erfolgt in erster Linie durch Institutionen auf nationaler Ebene (insbesondere BMU/UBA als Initiatoren des Verbunds). Messdaten des Verbunds stehen jedoch auch allen anderen Datennutzerinnen und -nutzern offen, z. B. wissenschaftlichen Institutionen oder Länderbehörden. Die Aufgaben der Datennutzerinnen und -nutzer im Verbund bestehen in:

- ▶ Auswahl von Standorten aus dem Verbund für die eigene Fragestellung,
- ▶ Kontaktaufnahme mit den Betreiberinnen und -betreibern und Anfrage der benötigten Messdaten (Messgrößen, Begleitdaten, Zeitraum) mit Benennung von Fragestellung, Zeitplan und erwarteten Ergebnissen,
- ▶ Unterzeichnung einer Vereinbarung mit den Daten erhebenden Stellen über Art und Umfang der Datennutzung sowie Berichtspflicht von Ergebnissen an die Daten erhebenden Stellen (Nutzungsvereinbarung),

- Berücksichtigung von Repräsentanz-Kriterien, Prüfung auf Vergleichbarkeit, Zusammenführung und ggf. Aufbereitung von Messdaten sowie Auswertung nach wissenschaftlichem Standard,
- Bericht über die Ergebnisse an die Daten erhebende(n) Stelle(n) sowie den Verbundbetreiber, idealerweise als Open Source-Publikationen.

In Abbildung 11 sind die Struktur, die Kommunikationswege und die Aufgaben der Beteiligten im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund zusammengefasst.

**Abbildung 11: Struktur, Kommunikationswege und Aufgaben der Beteiligten im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund**



## 5.6.2 Fachliche, technische und organisatorische Werkzeuge

Für den Verbund sind folgende Werkzeuge erforderlich:

**Verbund-Manual:** Handbuch mit Definition der Qualitätskriterien für festgelegte Ziel- und Begleitgrößen, Methoden inkl. Messhäufigkeiten und Messtechnik sowie Qualitätskriterien für Stamm- und Metadaten, Anforderungen an Kernstandorte (Mindestanforderungen sowie zusätzliche Anforderungen an Kernstandorte).

Das Verbund-Manual soll hinsichtlich der Untersuchungskonzepte und -methoden sowie der Dokumentation von Daten und Metadaten auf bestehenden Standards aufgebaut werden (z. B. ICP Forests Manuale, TERENO- und BonaRes-Standards, Barth et al. 2000 für BDF<sup>19</sup>, DOI-Nummer für Forschungsdaten, ISO 19115, HFA- und BDF-Methoden-Code (GAFA 2014, UBA 2011)).

**Verzeichnis der Verbundstandorte:** Das Verzeichnis enthält Stammdaten und Angaben zu Messgrößen für alle gemeldeten Verbundstandorte und ist die Grundlage für den Geodatensatz

<sup>19</sup> Die Arbeitshilfe „Boden-Dauerbeobachtung. Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ (Barth et al. 2000) wird voraussichtlich bis 2022 überarbeitet.

der Verbundstandorte. Nach Abschluss der beiden F+E-Vorhaben zur Verbundkonzeption (UBA 2020 und Kapitel 4 / Teil A) liegt ein Verzeichnis mit rund 9.000 gemeldeten Standorten vor.

**Datenaustauschformate:** Für den Austausch von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen sowie von Metadaten sind standardisierte Austauschformate notwendig.

**Online-Kartenanwendung:** In der Kartenanwendung werden freigegebene Stammdaten der Verbundstandorte inkl. Angaben zu Messgrößen unter Berücksichtigung von Datenschutzanforderungen (z. B. Runden der Koordinaten, personenbezogene Daten) veröffentlicht. Ein gutes Beispiel ist die im April 2021 vom UBA veröffentlichte Web-App zu den Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland (<https://gis.uba.de/maps/resources/apps/Boden-Dauerbeobachtung>).

**Kooperationsvereinbarung:** In der Vereinbarung werden die Aufgaben des Verbundbetreibers und der Daten erhebenden Stellen festgelegt. Sofern es über die bestehenden Vereinbarungen zum Datenaustausch zwischen Bund und Ländern hinaus erforderlich ist, werden die Urheber- und Nutzungsrechte sowie die Qualitätssicherung über die Kooperationsvereinbarung abgesichert.

**Muster-Nutzungsvereinbarung:** Wenn Daten der Daten erhebenden Stellen für Auswertungen angefragt werden, kann die Nutzungsvereinbarung des Verbunds zur Regelung der Art und des Umfangs der Datennutzung sowie der Berichtspflicht von Ergebnissen an die Daten erhebenden Stellen verwendet werden, sofern dies über bestehende Regelungen hinaus erforderlich ist. Bei der Nutzung von Daten aus dem Verbund sollten Open-Source-Publikationen zur Auflage gemacht werden, damit die Ergebnisse von Datenauswertungen öffentlich verfügbar werden.

**Öffentlichkeitsarbeit:** Für den Verbund wird regelmäßig mit exemplarischen Auswertungsbeispielen für die Messgrößen und -werte an einzelnen Standorten geworben, um den Nutzen und den Wert der Messergebnisse direkt für alle möglichen Datennutzerinnen und -nutzer sichtbar zu machen. Für Beispiel-Klimafolgen-Messstationen werden Kurzbeschreibungen, Auswertungen und grafische Darstellungen erarbeitet, die auf der Internetseite des Verbunds publiziert werden. Regelmäßig werden Online-Informations- und Diskussionsveranstaltungen für die Daten erhebenden Stellen angeboten. Der Verbund soll fortlaufend auf einschlägigen Tagungen und Symposien vertreten sein, wirbt dort für die wissenschaftliche Nutzung der Messdaten und stößt Vernetzungsprozesse an (z. B. NMZB, BonaRes, TERENO, NFDI). Ziel der Öffentlichkeitsarbeit ist es, den Nutzen des Verbunds und seiner Messstandorte in Verwaltung und Forschung besser bekannt zu machen, weitere Datennutzerinnen und -nutzer auf die Datenquellen aufmerksam zu machen und damit überregionale und fachübergreifende Auswertungen voranzutreiben sowie weitere Verbundmitglieder zu gewinnen.

In der bisherigen Konzeptionsarbeit für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund wurden quasi als Nebenprodukt beschreibende Informationen über Bodendaten zusammengestellt und für Bewertungen genutzt, die als Online- und Printprodukt in Form von Steckbriefen für „Bodendaten in Deutschland“ verfügbar sind (UBA 2020a). Sie geben Hinweise für eine Datenauswahl durch Forschung und Verwaltung zur Verwendung in Auswertungen und sollten perspektivisch (in Teilen) in Form von digitalen Metadaten für Geodaten zur Verfügung stehen.

## Verzeichnis der Verbundstandorte

Definierte Angaben zu den Verbundstandorten und zu den dort erhobenen Messgrößen werden nach Gründung des Verbunds regelmäßig (z. B. einmal im Jahr) zwischen Daten erhebenden Stellen und dem Verbundbetreiber ausgetauscht und in einem Verzeichnis der Verbundstandorte geführt. Gemäß dem INSPIRE-Grundprinzip sollen Geodaten nur einmal gesammelt und nur dort verwaltet werden, wo dies am effektivsten geschehen kann. Demnach sollten die Daten erhebenden Stellen ihre Verbundstandorte in einem festgelegten Datenschema beschreiben und diesen Datensatz fortlaufend pflegen (Erheber-Datensatz inkl. Metadaten). Ggf. können bei den Daten erhebenden Stellen verfügbare Stammdaten und Angaben zu Messgrößen auch vom Verbundbetreiber in das Datenschema des Verbunds überführt werden. Der Erheber-Datensatz der Verbundstandorte enthält die Messstandorte einer Daten erhebenden Stelle in Form von Punkt-Geoobjekten, enthält beschreibende Attribute für die Messstandorte einer Daten erhebenden Stelle wie z. B. Nutzung, Messgrößen, Messhäufigkeit, wird von der Daten erhebenden Stelle gepflegt und mit Metadaten beschrieben, wie z. B. Titel, Kurzbeschreibung, Stand des Datensatzes, verantwortliche Stelle, Referenzsystem, Datenstruktur, Sprache, und wird Teil des bundesweiten Verzeichnisses und Geodatenatzes aller Verbundstandorte.

Das Datenschema soll an bestehende Strukturen für Geoobjekte (ISO) anknüpfen und diese um die für spezielle Nutzeranfragen notwendigen Attribute (z. B. Messgrößen, Startjahr) ergänzen. Das Datenschema ist für jedes Verbundthema zu überprüfen und ggf. anzupassen. Für den Datenaustausch ist das Datenschema in einer geeigneten technischen Form vorzuhalten, die eine wiederkehrende Datenübermittlung und eine INSPIRE-konforme Berichterstattung unterstützt. Mit den in den beiden F+E-Vorhaben zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds eingesetzten Formularen sind die fachlichen Anforderungen an den Datenaustausch für die Themen Bodenbiologie, organische Substanz, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion definiert. Die Anforderungen aus INSPIRE allein reichen nicht aus, z. B. sind Bewirtschaftungsdaten nicht INSPIRE-relevant. Es muss eine Erweiterung (Vereinheitlichung und technische Harmonisierung und eine Schnittstellenkonzeption) erfolgen, die die Vollständigkeit der Daten in Bezug auf die Verbundthemen und deren gemeinsame Auswertung ermöglicht.

Vor dem Start des Verbunds ist der Prozess des Datenaustauschs zu konkretisieren und in die Kooperationsvereinbarung aufzunehmen. Dabei sind bestehende Regelungen zum Datenaustausch zu berücksichtigen (z. B. Bund-/Länder-Verwaltungsvereinbarungen) und um klimarelevante Fragestellungen zu ergänzen. Für den Austausch von Standortdaten, aber auch von Messdaten zwischen den Daten erhebenden Stellen und Nutzern sind nach Möglichkeit bestehende Dateninfrastrukturen zu nutzen. Bei der Definition des Datenaustauschprozesses ist auch der Prozess der Meldung neuer Standorte sowie der Aktualisierung von Stammdaten und den Angaben zu Messgrößen inkl. einer Qualitätsprüfung auszugestalten. Dazu gehören die Definition von Angaben, die durch die Daten erhebende Stelle zu prüfen sind (auf Basis von allgemeinen Qualitätskriterien), die Definition von Angaben, die durch den Verbundbetreiber geprüft werden (auf Basis von allgemeinen und themenspezifischen Qualitätskriterien) sowie das Formulieren von Algorithmen zur Plausibilitätsprüfung. Bei der Fortschreibung des Verzeichnisses der Verbundstandorte sollten die allgemeinen und themenspezifischen Qualitätskriterien im Hinblick auf Auswertungen regelmäßig geprüft und erneut bewertet werden. Das dem Austausch und der Bereitstellung von Stammdaten dienliche Verzeichnis der Verbundstandorte sollte für jede/n Nutzer/-in anwenderfreundlich gestaltet, intuitiv und selbsterklärend sein. Eine Abfragemöglichkeit nach Themen ist dabei zielführend. Hinweise zur Gestaltung des Verzeichnisses der Verbundstandorte und zu erforderlichen Aufbereitungen der bisher projektbezogen geführten Datenbank sind in Anhang E dokumentiert.

### Online-Kartenanwendung

Die Kartenanwendung soll es künftig ermöglichen, Messstandorte nach Themen zu recherchieren und Suchanfragen über Messgrößen und Zeitreihenlängen durchführen zu können. Damit wird ein leichter und schneller Zugriff auf die Information über Messdaten unterschiedlicher Programme und Ressorts erreicht. Querverweise zu anderen Kartenanwendungen mit verwandten Inhalten oder die Einbindung von entsprechenden Geodaten sollen dabei vorgesehen werden (z. B. BonaRes, TERENO). Für die Konzeption der Kartenanwendung ist von Bedeutung, dass an jedem Standort mehrere Messgrößen erhoben werden und den Messgrößen weitere Sachdaten zuzuordnen sind (z. B. Messbeginn, Messhäufigkeit). Diese 1:n-Beziehung ist in den zugrunde liegenden Geodatensätzen abzubilden. Die Kartenanwendung muss Funktionalitäten für entsprechende Abfragen bereitstellen. Außerhalb der Kartenanwendung des Verbunds kann der bundesweite Geodatendienst der Verbundstandorte (als gekürzte Fassung ohne Messgrößenangaben) in gängige Geoportale integriert werden, z. B. Geodatenportal des Bundes, Geographisches Informationssystem Umwelt GISU, UBA-Web-Apps).

## 5.7 Empfehlungen zur Umsetzung des Verbunds

Im Folgenden werden organisatorische Maßnahmen zur Umsetzung des Verbunds sowie erforderliche oder als wünschenswert angesehene fachliche Aufgaben benannt, den jeweils zuständigen Akteuren zugeordnet (→) und soweit möglich mit einer Aufwandsschätzung versehen (*kurziv*) (siehe Kap. 5.7.1 und 5.7.2). Die Aufwandsschätzungen können von den Autoren nur grob und in Spannen vorgenommen werden. Sie sollten durch den Verbundbetreiber in Abstimmung mit der Steuerungsgruppe verifiziert werden. Schließlich wird für die Maßnahmen und Aufgaben ein zeitlicher Ablaufplan skizziert (siehe Kap. 5.7.3).

### 5.7.1 Organisatorische Maßnahmen

Für die Umsetzung des Verbunds werden folgende organisatorische Maßnahmen als notwendig erachtet:

- ▶ **Einrichtung der Institution des Verbundbetreibers** mit personellen und verwaltungstechnischen Kapazitäten und Budget für die Erledigung der Aufgaben in der ersten Betriebsphase sowie der ständigen Aufgaben
  - BMU/UBA, ggf. mit Partnern wie Thünen-Institut, NMZB, BonaRes, BMU-Umweltinformationszentrum
  - Geschätzter Aufwand: Für die Startphase (erste zwei Jahre) mind. drei Vollzeitstellen mit Assistenz für ständige Aufgaben; nach Etablierung (ab dem 3. Jahr) mindestens zwei Vollzeitstelle, Budget für unten vorgeschlagene Anlauf- und Begleitprojekte, Büroausstattung, Website usw.*
- ▶ **Gründung der Steuerungsgruppe mit einer Geschäftsordnung zur Festlegung der Aufgaben sowie der Entscheidungsbefugnisse und -prozesse, Schaffen von personellen Kapazitäten für die Mitarbeit in der Steuerungsgruppe**
  - verschiedene Institutionen je nach personeller Besetzung
  - Geschätzter Aufwand: Fachliche Bearbeitung von Verbundaufgaben an ca. 2-10 Arbeitstagen pro Jahr sowie zwei Besprechungstermine pro Jahr*

► **Schaffen von personellen Kapazitäten bei den Daten erhebenden Stellen**

→ Daten erhebende Stellen

*Geschätzter Aufwand: Bearbeitung von Nutzeranfragen ca. 1-4 Arbeitsstunden pro Anfrage für Datenbereitstellung und Kommunikation je nach Anforderung und evt. Aufbereitungsbedarf; Austausch von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen an ca. 1 Arbeitstag pro Jahr [sofern bereits in geeigneter Struktur vorliegend] sowie bei Interesse Teilnahme an Informationsveranstaltungen*

► **Beschlüsse zur Gründung und zum Betrieb des Verbunds**

- a) Mandat für den Verbundbetreiber (aus der Steuerungsgruppe und/oder als politische Entscheidung)
- b) Abschließen der Kooperationsvereinbarung zwischen Verbundbetreiber und den Verbundmitgliedern mit der Bitte an die Daten erhebenden Stellen, Messungen von Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds langfristig fortzuführen sowie sich auf einheitliche methodische Eckpunkte für die Messung von Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds zu verständigen (Probenahmeterminen, Messintervalle und Untersuchungsmethoden)

→ Verbundbetreiber (Veranlassung), z. B. Umweltministerkonferenz

► **Abstimmung des Umsetzungsprozesses und der erforderlichen Vereinbarungen unter Berücksichtigung der Aktivitäten des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität (NMZB), des BonaRes-Datenzentrums und weiterer Akteurinnen und Akteure mit verwandten Zielen und Aufgaben<sup>20</sup>:**

Aufgabenklärung für Themen, Sondierung der Schnittstellen und der Möglichkeiten zur Zusammenarbeit, Fragestellungen und Berichterstattung, organisatorische Aufgaben, Standardisierung und Harmonisierung von Methoden; Vereinbarung von Kooperationen; Abstimmung der verbundinternen Kooperationsvereinbarung und Nutzungsvereinbarung, Ergänzung des Anhangs Boden der Bund-/Länder-Verwaltungsvereinbarung (VV) zum Datenaustausch im Umweltbereich von 1995 um klimarelevante Fragestellungen

→ Verbundbetreiber

## 5.7.2 Fachliche Aufgaben

Für die erste Betriebsphase und die langfristige Weiterentwicklung des Messnetzverbunds sind fachliche Aufgaben zu bearbeiten oder sie werden für die Umsetzung als wünschenswert empfohlen (jeweils gekennzeichnet mit „notwendig“ oder „wünschenswert“).

### 5.7.2.1 Werkzeuge bereitstellen

→ BMU/UBA

*Geschätzter Aufwand: ca. 100-500 TE pro Jahr in den ersten 5 Jahren, danach ca. 75 TE pro Jahr*

- **Erarbeitung eines Verbund-Manuals** mit der Definition von Mindeststandards für die Datenerhebung und die Datenqualität (aufbauend auf bestehenden Standards, z. B. von ICP Forests Level II, BZE Wald und Landwirtschaft, LUCAS Soil) sowie zusätzlicher Anforderungen

---

<sup>20</sup> Als Hintergrundinformation für die Ausgestaltung des Prozesses wird auf die Gründung des Kompetenzzentrums Boden in der Schweiz (KOBO) verwiesen (BAFU, BLW & ARE 2021).

für Kernstandorte, darin: Vorschläge für einheitliche Probenahmetermine, Messintervalle, Bezugstiefen und Untersuchungsmethoden für Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds (ableitbar aus UBA 2020 und Kapitel 4 / Teil A), abzustimmen in Steuerungsgruppe)<sup>21</sup> (notwendig)

- ▶ **Technische und organisatorische Ausgestaltung des Austauschprozesses von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen im Verbund** inkl. Festlegung eines Datenaustauschformats<sup>22</sup>, Festlegung eines Metadatenstandards für die Erheber-Datensätze der Verbundstandorte sowie Klärung der rechtlichen Situation und technischer Zugriffsmöglichkeiten für Bewirtschaftungsdaten (notwendig)
- ▶ **Aufbereitung des Verzeichnisses der Verbundstandorte für den Einsatz im Verbundbetrieb**<sup>23</sup> (notwendig)
- ▶ **Maßnahmen für die Öffentlichkeitsarbeit**, z. B. Informations-Kampagnen, Informations- und Diskussions-Veranstaltungen für Daten erhebende Stellen und Datennutzerinnen und -nutzer in regelmäßiger Wiederholung, z. B. angebunden an verwandte Fachtagungen, z. B. DBG, BonaRes (notwendig)
- ▶ **Aufbau einer Kartenanwendung** (wünschenswert)
- ▶ **Harmonisierung und Ergänzung von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen der Verbundstandorte**, um die Qualität der Dokumentation von Ziel- und Begleitgrößen bzw. -informationen zu verbessern<sup>24</sup> (wünschenswert)

#### 5.7.2.2 Daten auswerten

- ▶ **Anlaufprojekt / Masterarbeit: Exemplarische Datenauswertungen** aus dem Verbund zur Vorbereitung einer ersten Beispiel-Klimafolgen-Messstation (vgl. UBA 2020) (wünschenswert)
- ▶ **Erarbeitung praktikabler Konzepte für die Indikatoren-Entwicklung (siehe dazu auch Kap. 5.8) unter Berücksichtigung eines zukunftsfähigen Datenaustauschprozesses (notwendig),**  
→ BMU/UBA  
*Geschätzter Aufwand: ca. 25-100 TE je nach Umfang der betrachteten Themen*
- ▶ **Bundesweite Auswertung von Messdaten der Verbundstandorte** mit dem Ziel Aussagen für Indikatoren, insbesondere für die DAS-Berichterstattung, (vgl. Kap. 5.8) sowie zum Bodenzustand in Deutschland und den u. a. aus dem Klimawandel resultierenden Veränderungen des Bodenzustands und der Bodenqualität zu erhalten (dabei Abstimmung von Möglichkeiten und Grenzen mit Daten erhebenden und koordinierenden Stellen sowie Berücksichtigung verschiedener Messintensitäten und Messkonzepte und Herstellung der Kompatibilität

---

<sup>21</sup> Kritisch im Hinblick auf interne Vergleichbarkeit und Kontinuität der Messdaten und -methoden. Um Standards einheitlich umzusetzen, ist ein intensiver Austausch zwischen den Betreiberinnen und Betreibern der Messnetze notwendig.

<sup>22</sup> Die fachlichen Grundlagen für ein Austauschformat liegen themenspezifisch vor (s. UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A).

<sup>23</sup> Im Rahmen des aktuellen Vorhabens wurde eine Projektdatenbank erstellt. Sie diene der Erfassung und der Bewertung gemeldeter Standorte. Die Datenbank enthält daher Felder, die für die Bewertungen in den beiden Forschungsvorhaben zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A) dienen. Für das Verzeichnis der Verbundstandorte im produktiven Betrieb sollten aus der projektbezogenen Datenbank die Felder ausgewählt werden, die für Datennutzerinnen und -nutzer von Interesse sind. Personenbezogene Daten der Datenbesitzer sollten in ein geeignetes System überführt werden, um deren strukturelle Anforderungen zu erfüllen (Mehrfachnennung, erforderliche Felder für die Adressverwaltung, Datenschutz) (s. auch Anhang E).

<sup>24</sup> Defizite in den Stammdaten der gemeldeten Standorte liegen im Ergebnis der themenspezifischen Eignungsbewertung für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz vor (vgl. Kap. 4 / Teil A).

von Daten verschiedener Programme, siehe auch nachfolgender Punkt) (notwendig)

→ BMU/UBA

*Geschätzter Aufwand: ca. 50-150 TE für erste Datenauswertungen je nach Umfang der betrachteten Themen, danach ca. 5-10 TE pro Jahr für die Fortschreibung festgelegter Indikatoren und Fragestellungen*

- ▶ Konzepte zur Herstellung der Kompatibilität von Daten verschiedener Erhebungsmethoden, z. B. Vergleichbarkeitsstudie für Berechnungsverfahren des Humusvorrats  
→ BMU/UBA, Länder (LABO)  
*Geschätzter Aufwand: nach konkreter Zielformulierung abschätzbar*
- ▶ **Zielgerichtete Auswertung von Daten aus Bodenmonitoring und Erhebungen**, z. B. aufbauend auf dem LFP-Projekt „Methodik der statistischen Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung“ (LABO 2021)  
→ BMU/UBA, Länder (LABO)  
*Geschätzter Aufwand: nach konkreter Zielformulierung abschätzbar*
- ▶ **Konzepte zur Herstellung der technischen Kompatibilität von Mess- und deren Metadaten**<sup>25</sup> (notwendig)  
→ BMBF, BMI, DFG (z. B. NFDI)  
*Geschätzter Aufwand: nicht abschätzbar*

### 5.7.2.3 Verbund mit weiteren Standorten ausbauen

- ▶ **Anfrage, Eignungsprüfung und Aufnahme** weiterer Messaktivitäten in den Verbund (notwendig)
  - a) Bodenbiologie: BDF Niedersachsen, LUCAS Soil, ICP Forests Level II, BZE Wald, Bodenzoologie in Biodiversitäts-Exploratorien, Moorbodenmonitoring Thünen, Forschungsaktivitäten in naturnahen Wäldern (z. B. Naturwaldzellen NRW)<sup>26</sup>
  - b) Organische Bodensubstanz/Bodenwasserhaushalt: Bundesweites Moorbodenmonitoring unter Wald / Offenland
  - c) Bodenwasserhaushalt: Standorte ohne Entwässerungseinfluss aus landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen (z. B. in Rheinland-Pfalz, Bayern, Sachsen-Anhalt<sup>27</sup>), Moormonitoring-Programme der Länder (z. B. Niedersachsen), Langzeit-Moorforschung und/oder Grundwasserstandsüberwachung der Länder), künftig neu eingerichtete Bodenfeuchte-Messstationen (z. B. DWD)
  - d) Bodenerosion: Schadensfallabhängige Kartierungen der Länder in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt (bisher fehlen Angaben zu Methoden, Erfassungszeiträumen und Datenqualität); weitere schadensfallabhängige Kartierungen der Länder (z. B. Hessen)<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Um die Bearbeitung von weiteren, durch den Verbund erwarteten Datenanfragen durch die erhebenden Stellen bewältigen zu können, ist ein hoher Automatisierungsgrad erwünscht.

<sup>26</sup> <https://www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/naturwaldzellen/naturwaldzellen-programm-in-nrw>

<sup>27</sup> Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche, die Daten zur Speicherung und Filterung von Wasser erheben, sind in Anhang B in UBA (2020) erfasst bzw. können aktuell der Karte der Dauerfeldversuche in Deutschland (BonaRes 2017) entnommen werden.

<sup>28</sup> Die Erfassung von Erosionsereignissen erfolgt in Zusammenhang mit der Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser (§ 8 BBodSchV). Eine weitgehend routinemäßige Erfassung gemeldeter Ereignisse wird derzeit nur in wenigen Bundesländern umgesetzt (z. B. Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt). Einheitliche methodische Standards fehlen bisher.

- ▶ **Förderung einer Teilnahme weiterer geeigneter landwirtschaftlicher Dauerfeldversuche im Verbund, die aus Kapazitätsgründen abgesagt haben, sowie Förderung der Wiederaufnahme von Messungen an landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen, deren Betrieb kürzlich eingestellt wurde** (wünschenswert)

→ z. B. BMU/UBA, BMEL, BMBF

#### 5.7.2.4 Verbund-Konzept weiterentwickeln

- ▶ **Forschungsvorhaben zur fachlichen Weiterentwicklung des Verbund-Konzepts** (wünschenswert)

- a) Einbindung schadensfallabhängiger Kartierungen von Erosion
- b) Weiterentwicklung von Werkzeugen zur Methodendokumentation
- c) Messnetzübergreifende Repräsentanz-Analyse von Verbundstandorten
- d) Herausarbeiten von spezifischen Anforderungen an Zielgrößen, Begleitparameter und Methoden für Moorböden in Bezug auf die Verbundthemen und Integration bestehender Moorbodenmonitoringprogramme in das Verbundkonzept.

→ BMU/UBA, BMBF, BMEL u. a.

*Geschätzter Aufwand: ca. 50-1.000 TE*

#### 5.7.2.5 Defizite abbauen

- ▶ **Anpassung bestehender Messaktivitäten an einzelnen Stellen an Qualitätsstandards des Verbunds** (vgl. UBA 2020 und Kapitel 4 / Teil A) (notwendig)

→ Daten erhebende Stellen, idealerweise Förderung durch BMU/UBA oder andere z. B. BMBF

*Geschätzter Aufwand: nur von Betreiberinnen und Betreibern individuell abschätzbar*

- a. für Bodenbiologie:
  - i) Aufgrund der Ausgestaltungsmöglichkeiten von bestehenden Standards für bodenbiologische Untersuchungen sollte neben der Angabe der verwendeten Standard-Methodik eine genaue Beschreibung des Probenahmedesigns und der angewendeten Methodik gefordert werden.
  - ii) Ergänzung der Boden-Dauerbeobachtungsprogramme, um die Messung von bisher nicht erhobenen bodenbiologischen Begleitgrößen und Ergänzung von Empfehlungen zu umfassenden Befragungen der Eigentümer bzw. Bewirtschafter der Flächen, um eine lückenlose Dokumentation der direkten anthropogenen Einflüsse (Düngung, Bodenbearbeitung, Pestizideinsatz etc.) zu erhalten.
- b. für organische Bodensubstanz:
  - i) in den Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen Ergänzung der Dokumentation der Bestimmungsmethoden für die Trockenrohddichte und Bewirtschaftungsinformationen auf Acker- und Grünland, wo fehlend
  - ii) Messung der Trockenrohddichte und des Skelettgehalts zu jedem Messzeitpunkt der Zielgrößen für organische Bodensubstanz oder- wenn nicht machbar - qualitätsgeprüfte Übernahme von Messdaten anderer Zeitpunkte mit Dokumentation der Methoden; Dokumentation der Trockenrohddichte zum jeweiligen Messzeitpunkt
  - iii) wenn möglich Anpassung der Messintervalle auf 5 bis 10 Jahre und Vereinheitlichung der Messtermine in den Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen (z. B. durch Schwerpunktsetzung bei Kernstandorten), Verbesserung der Dokumentation der

Termine, Tiefenstufenbezogene Beprobung unter Berücksichtigung der Untergrenze des A-Horizonts

- iv) Ergänzung der Erfassung von Vorräten der organischen Bodensubstanz in den Boden-Dauerbeobachtungsprogrammen, wo bisher nicht durchgeführt sowie Etablieren des Equivalent Soil Mass-Ansatzes
- v) Ergänzung von Messgrößen für die Vorratsberechnung der organischen Bodensubstanz und Bewirtschaftungsangaben im Messprogramm der Umweltprobenbank mit 4-jährigem Messintervall
- c. Für Bodenwasserhaushalt: Lückenlose Dokumentation von Bewirtschaftungsdaten auf landwirtschaftlich genutzten Standorten
- d. Für Bodenerosion: Vereinheitlichung der Methoden zur Erfassung von Bodenabträgen auf Erosionsmessflächen sowie zur Erfassung von Erosionsereignissen in schadensfallabhängigen Kartierungen

Der Verbund verfolgt nicht das Ziel einer breiten, sondern vielmehr das einer gezielten und maßvollen Anpassung von etablierten Methoden in Langfristprogrammen.

- **Einrichtung von neuen Messstandorten oder zumindest Ergänzung des Messumfangs an bestehenden Standorten**, insbesondere im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung, aber auch in künftig geplanten Monitoring-Programmen, um Defizite der Flächenabdeckung zu reduzieren (wünschenswert).

Die Defizite sind in UBA (2020) und Kapitel 4 / Teil A) dargestellt.

→ Daten erhebende Stellen bestehender Programme und/oder Förderung durch BMU/UBA, BMBF, BMEL

- a. Lücken für Bodenbiologie u. a. in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Hessen, Saarland sowie in Mooren
- b. Lücken für organische Bodensubstanz in Mooren sowie landwirtschaftliche Nutzflächen in einigen Ländern wie z. B. Rheinland-Pfalz und Brandenburg
- c. Lücken für Bodenwasserhaushalt: v. a. in West- und Norddeutschland, auf landwirtschaftlich genutzten Böden, sofern keine geeigneten landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche für eine Teilnahme gewonnen werden können, sowie an grundwasserbeeinflussten Standorten (Hier sind vorher alternative Ansätze, z. B. mittels Grundwasserstandsüberwachung zu prüfen.)
- d. Lücken für Bodenerosion: Bedarf für neue Standorte mit kontinuierlichen und standardisierten Messungen besteht in Gesamtdeutschland. Schadensfallabhängige Kartierungen nach einheitlicher Methodik können eine sinnvolle Alternative zur Einrichtung von kostenintensiven Erosionsmessflächen sein.

Neue Messstandorte, die Auswertungen zu Fragestellungen der Klimafolgen ermöglichen, sollten nach den Qualitätsanforderungen des Verbunds konzipiert werden. Für diese Aufgaben sind die Zuständigkeiten und Finanzierungsfragen zu klären.

*Geschätzter Aufwand: ca. 100 TE einmalig pro Standort, dann 10 – 100 TE pro Jahr, je nach Parameterumfang und Messintensität [zu prüfen]*

- **Wiederaufnahme bodenbiologischer Messungen auf bestehenden Boden-Dauerbeobachtungsflächen der Länder** (z. B. Brandenburg, Nordrhein-Westfalen) (wünschenswert)

→ Daten erhebende Stellen bestehender Programme und/oder Förderung durch BMU/UBA oder andere Ressorts z. B. BMBF

*Geschätzter Aufwand: nach Konkretisierung der Standortzahl, Zielgrößen und Messintervalle abschätzbar*

- ▶ **Zentrale Messkampagnen an bestehenden Monitoringstandorten** für ausgewählte Fragestellungen zur Unterstützung der weiteren Methodenentwicklung und einer langfristigen Harmonisierung; dabei Qualitätssicherung mit Ringanalysen und ggf. Anknüpfung von Vergleichbarkeitsstudien (alle Themen, insbesondere Bodenbiologie) (wünschenswert)  
→ BMU/UBA  
*Geschätzter Aufwand: ca. 500-1.500 TE je nach Umfang*

#### 5.7.2.6 Messdaten von Verbundstandorten mehr in Forschung und Verwaltung nutzen

- ▶ **Publikation digitaler Metadaten für Geodatensätze des Verbunds, d. h. Auswahl einer technischen Metadatenplattform, Festlegen eines Metadatenprofils und Aktivierung der Daten führenden Stellen** (vgl. Kaufmann-Boll & Kappler 2021) (wünschenswert)  
→ Verbundbetreiber, Daten erhebende Stellen  
*Geschätzter Aufwand: nicht abschätzbar*
- ▶ **Integration von Daten und Messergebnissen aus Monitoring und Erhebung in Forschungsaktivitäten**, z. B. indem thematisch relevante Ausschreibungen von Forschungsprojekten auf bestehende Messstandorte und laufende Beobachtungsprogramme hinweisen und deren Einbeziehung zur Vorgabe machen (wünschenswert)  
→ ausschreibende Stellen: BMU, BMEL, BMBF, DFG  
*Geschätzter Aufwand: kein zusätzlicher Aufwand*

#### 5.7.3 Entwurf eines Ablaufplans für den Start des Verbunds

Für den Aufbau des Verbunds und eine erste Betriebsphase wird in Tabelle 10 ein Ablaufplan vorgeschlagen. Er greift die oben genannten Maßnahmen auf. Als notwendig erachtete Schritte sind fett gedruckt, wünschenswerte Schritte kursiv gekennzeichnet.

**Tabelle 10: Arbeitsschritte für die Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds**

VORBEREITUNGSPHASE	
Monat 1-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Planung u. Organisation der Verbundgründung (Verbundbetreiber, Steuerungsgruppe)</li> <li>▶ Aufnahme der Arbeit des Verbundbetreibers</li> <li>▶ Gründung der Steuerungsgruppe</li> <li>▶ Erarbeitung einer Kooperationsvereinbarung und einer Nutzungsvereinbarung</li> <li>▶ Erste Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit für den Verbund (Verbundbetreiber)</li> <li>▶ Anlaufprojekt / Masterarbeit: Exemplarische Datenauswertungen aus dem Verbund zur Vorbereitung einer ersten Beispiel-Klimafolgen-Messstation (Verbundbetreiber, NN)</li> <li>▶ Erarbeitung des Verbund-Manuals mit fachlichen Qualitätsstandards für die Datenerhebung (Verbundbetreiber, Steuerungsgruppe)</li> <li>▶ Definition des Datenaustauschprozesses, Erarbeitung des technischen Austauschformats für Stammdaten und Angaben zu Messgrößen und des technischen Konzepts für die Kartenanwendung (Verbundbetreiber)</li> </ul>
◆	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Meilenstein „Verbundbetreiber und Steuerungsgruppe eingesetzt. Fachliche und technische Standards liegen vor.“</li> </ul>
Monat 7-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Aufbereitung des Verzeichnisses der Verbundstandorte, Aufbau Internetseite und Kartenanwendung anhand der Standortmeldungen von 2021 und der Ergebnisse von Anlaufprojekt / Masterarbeit (Verbundbetreiber)</li> <li>▶ Testphase Kartenanwendung (Verbundbetreiber)</li> <li>▶ Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarungen (Verbundbetreiber, Verbundmitglieder) im Rahmen einer Festveranstaltung mit Präsentation einer Beispiel-Klimafolgen-Messstation</li> </ul>
◆	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Meilenstein „Kooperationsvereinbarungen unterzeichnet. Verbundbetrieb ist vorbereitet.“</li> </ul>
BETRIEBSPHASE	
1. Jahr	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Datenauswertungen, Öffentlichkeitsarbeit zur Förderung der Datennutzung (Verbundbetreiber)</li> <li>▶ Weiterentwicklung der Konzeption, weitere Anlauf-Projekte (F+E) (Verbundbetreiber, Steuerungsgruppe)</li> </ul>
2. Jahr	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Anfrage des Verbundbetreibers an Daten erhebende Stellen und Datenaustausch zwischen Daten erhebenden Stellen und Verbundbetreiber:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- neue oder aktualisierte Standortdaten (Erheber-Datensätze)</li> <li>- eingegangene Messdaten-Anfragen von Datennutzern (Verbundbetreiber, Verbundmitglieder)</li> </ul> </li> <li>▶ Öffentlichkeitsarbeit zur Förderung der Datennutzung (Verbundbetreiber)</li> <li>▶ Erfolgskontrolle (Verbundbetreiber, Steuerungsgruppe)</li> <li>▶ Vorschlag und Vorbereitung weiterer Beispiel-Klimafolgen-Messstationen mit Anfrage exemplarischer Messergebnisse für die Öffentlichkeitsarbeit (Verbundbetreiber, Verbundmitglieder)</li> </ul>

Nach der Gründung des Verbunds ist eine Erweiterung möglich, da er als offenes System für Zielgrößen und Standorte fungiert. Schritt für Schritt können weitere Informations- und Messebenen angeknüpft werden. Ein schrittweiser Ansatz wird der Situation, dass Messdaten für unterschiedliche Bodennutzungen und Themen aus verschiedenen Institutionen, Ressorts und Messebenen zusammenzubringen und dort begrenzte Kapazitäten vorhanden sind, am ehesten gerecht.

Im Umsetzungsprozess ist sicherzustellen, dass Parallelaktivitäten vermieden werden (z. B. Standardentwicklung für Bodenbiologie sowohl im Verbund als auch durch das NMZB oder Standortverzeichnisse und Kartenanwendungen sowohl im Verbund als auch im BonaRes-Auftritt). Vielmehr sollten Kooperationen gesucht werden, die sich sinnvoll ergänzen, um die umfangreichen und anspruchsvollen Aufgaben zur Datenauswertung und zur Weiterentwicklung der bodenbezogenen Messaktivitäten in Deutschland und deren Ausschöpfung für die im Fokus stehenden Fragestellungen auf allen Verwaltungsebenen zu bewältigen.

## 5.8 Perspektiven für die DAS-Berichterstattung

Der Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund versteht sich als ein Netzwerk von Daten erhebenden Stellen, in dem qualitätsgesicherte harmonisierte Bodeninformationen über den Bodenzustand und seine Veränderungen unter dem Blickwinkel von Klimawandel und Bewirtschaftung zugänglich sind. Er ermöglicht die Verknüpfung und Analyse von Daten verschiedener bestehender Messprogramme und befördert eine Weiterentwicklung dieser bodenbezogenen Langzeitstudien in Deutschland. Mit seiner Umsetzung ergeben sich neue Perspektiven für die Berichterstattung im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Die alle 4 Jahre erforderliche Berichterstattung zum Monitoringbericht der DAS (UBA 2019) basiert prinzipiell auf Messdaten in Zeitreihen, um Indikatoren auf Basis von faktischen Beobachtungen abzubilden. Modellierte Daten kommen nur im Einzelfall zur Anwendung (mündl. Mittlg. K. Schönthaler, 28.04.2021).

Indikatoren, die im Zusammenhang mit dem Bodenzustand stehen, sind vor allem dem Handlungsfeld Boden, aber auch anderen Handlungsfeldern, wie z. B. Wald und Forstwirtschaft, zugeordnet. Sie sind – mit einer Ausnahme - bisher nicht mit bundesweit aussagekräftigen Messdaten aus bodenbezogenen Langzeit-Monitoring und -Erhebungen hinterlegt, sondern werden modellgestützt oder mit Hilfe regionaler Fallstudien belegt (siehe nachfolgende Übersicht). Im Hinblick auf die Entwicklung des Humusvorrats in forstlichen Böden wird die Situation im Zeitraum 1987 bis 1993 mit der des Zeitraums 2006 bis 2008 verglichen. Eine nächste Erhebung (BZE III) ist für die Jahre 2022 bis 2024 geplant, so dass die Entwicklung im Abstand von ca. 15 Jahren erfasst wird. In den Handlungsfeldern Landwirtschaft und Biologische Vielfalt werden bisher keine direkt mit dem Bodenzustand verknüpften Indikatoren eingesetzt.

### Indikatoren mit Bezug zu Bodenmonitoring in der Deutschen Anpassungsstrategie DAS (UBA 2019)\*

BO-I-1 Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden  
(Modell anhand DWD-Stationen, Trend seit 1970)

BO-I-2 Regenerosivität  
(Fallstudie Zeitreihe Niederschlag LANUV NRW, Trend seit 1970)

BO-R-1 Humusgehalte von Ackerböden  
(Fallstudie Zeitreihe C- und N-Gehalte Bayern BDF seit 1980er Jahren)

FW-R-5 Humusvorrat in forstlichen Böden  
(Vergleich Kohlenstoff-Vorrat BZE Wald 1 und 2 seit 1987)

\* weiterhin enthalten, jedoch hier nicht direkt relevant im Hinblick auf Bodenmonitoring:  
BO-R-2 Dauergrünlandfläche (Stat. Bundesamt, Entwicklung seit 1991),  
RO-R-5 Siedlungs- und Verkehrsfläche (Stat. Bundesamt, Entwicklung seit 1997),  
WW-I-1 Auftreten niedriger Grundwasserstände (Grundwassermessnetze der Länder seit 1961)

Handlungsfelder: BO Boden, FW Wald und Forstwirtschaft, RO Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung, WW Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz

Die Vernetzung und Kopplung bestehender Messaktivitäten kann langfristig dafür sorgen, dass erstmals belastbare bundesweite Aussagen auf nationaler Ebene für den Zustand von Böden im Klimawandel auf Basis vergleichbarer Messdaten erarbeitet werden können. Dazu sind geeignete bodenbezogene Indikatoren (weiter-) zu entwickeln und mit – möglichst für das Bundesgebiet repräsentativen – Beobachtungsdaten abzubilden. Eine Abstimmung in Bund und Ländern – wie z. B. in der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) durch eine Kleingruppe „Klimaindikatoren“ etabliert<sup>29</sup> – ist dabei sinnvoll.

Anknüpfend an die Ergebnisse der beiden F+E-Vorhaben zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A) werden hier Ideen zusammengestellt, wie die Berichterstattung für bodenbezogene Fragen in der DAS zukünftig weiterentwickelt werden könnte. Tabelle 11 zeigt Möglichkeiten für Indikatoren auf, die künftig mit Messdaten aus dem Verbund hinterlegt werden könnten. Diese Ideen sind noch nicht in Fachkreisen diskutiert worden. Sie können als Anregungen für die erforderliche Fachdiskussion über Schwerpunkte und einen machbaren Weg zur Indikatoren-Entwicklung genutzt werden.

<sup>29</sup> Seit mehreren Jahren bearbeitet eine LAWA-Kleingruppe die Harmonisierung von Indikatoren zum Klimawandel im Wasserbereich und hat bereits vier bundesweite Indikatoren für den Monitoringbericht 2019 zugeliefert.

**Tabelle 11: Ideen für die Weiterentwicklung der Berichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel**

Thema	Ideen für Indikatoren
Themen- übergreifend	Temperatur im Oberboden (wie Bodentemperatur in LANUV [2019])
Bodenbiologie	Artenzusammensetzung von Tiergruppen an naturnahen Standorten (Wälder, extensives Grünland), insbesondere Vorkommen klimasensibler Arten Regenwurmfauna (Biomasse von Regenwürmern) (wie in LUBW [2016]) Bodenbiologische Aktivität (z. B. Bodenatmung, mikrobielle Biomasse, mikrobielle Lebensgemeinschaft) (wie in FAO-ITPS [2020])* (wie in Hug et al. 2018)
Organische Bodensubstanz	Humusvorrat in Forst-, Acker- und Grünlandböden sowie Mooren (wie Humusvorrat in forstlichen Böden FW-R-5 im Monitoringbericht zur DAS in UBA [2019**]) (wie Humusvorräte in Grünlandböden in LfU Bayern [2017]) Qualität der organischen Substanz in Böden
Bodenwasser- haushalt	Bodenwasservorrat in Forst-, Acker- und Grünlandböden (wie BO-I-1 Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden in UBA [2019]) (wie Bodenwasservorrat in % der nFK in LUBW [2016]) Sickerwassermenge an naturnahen Standorten (Wälder, extensives Grünland) Grundwasserstand in Mooren
Bodenerosion	Regenerosivität (wie BO-I-2 Regenerosivität Fallstudie im Monitoringbericht zur DAS in UBA [2019]) (wie Regenerosivität R-Faktor ABAG in LANUV [2018]) Bodenabtrag Bodenbedeckungsgrad (z. B. über normalisierter differenzierter Vegetationsindex NDVI)

\* Der Indikator wird als Bestandteil eines Sets zur Beurteilung der Wirksamkeit ausgewählter Praktiken der nachhaltigen Bodenbewirtschaftung (sustainable soil management) im Rahmen des Protokolls zur Erfassung von nachhaltiger Bodenbewirtschaftung (Protocol of the assessment of sustainable soil management, FAO-ITPS 2020) vorgeschlagen.

\*\* Im DAS-Monitoringbericht (UBA 2019) weiterhin enthalten ist der Indikator „BO-R-1 Humusgehalte von Ackerböden – Fallstudie“.

Folgende Schritte sind erforderlich, um Indikatoren zu entwickeln:

- a) Festlegung von Erfassungsmethoden für geeignete Messgrößen und deren Beobachtung, ggf. Entwicklung von Standard-Methoden sofern fehlend,
- b) Prüfung von Messgrößen auf ihre Eignung als Indikatoren, z. B. besonders klimasensible Stoffe, Stoffanteile oder Arten(-gemeinschaften),
- c) Formulierung des Indikators und Definition der geeigneten Eingangsdaten.

Für die Bewertung von Indikatoren spielen Schemata für Richt- und Schwellenwerte oder Anspruchsniveaus eine wichtige Rolle. Die Definition dieser Grenzen stellt eine Herausforderung dar, da ein klar definiertes Wertespektrum vorgegeben werden muss und somit bereits im Vorfeld der Berichterstattung die Spannweite der möglichen Werte abgeschätzt bzw. überblickt werden müssen. Nach Steffens et al. (2019) kann die Bodenqualität beispielsweise folgendermaßen eingeordnet werden

- ▶ im Vergleich mit Referenzstandorten,
- ▶ anhand der Grundgesamtheit aller Standorte,
- ▶ bezogen auf einen modellierten Wert aus unabhängigen Daten (beruht auf der Identifikation eines Erwartungswertes) oder
- ▶ bezogen und in Relation gesetzt zu einer unabhängig ermittelten Größe.

### **5.8.1 Indikator „Temperatur im Oberboden“**

Vom UBA (FG II 2.7) ist gemeinsam mit dem DWD, Abteilung Agrarmeteorologie, und den Forschungsnehmern der neue Indikator „Temperatur im Oberboden“ konzipiert worden (vgl. Kap. 4.7 in Teil A), um diesen in der DAS-Berichterstattung im Handlungsfeld Boden einzuführen. Anhand von ausgewählten Messstationen des DWD wird dabei die Anzahl von Tagen pro Jahr mit einer mittleren Temperatur im Oberboden (10 cm) dokumentiert, die den Schwellenwert von 5 °C als Maß für eine relevante Intensität bodenbiologischer und bodenchemischer Prozesse überschreitet.

Hier bestehen künftig Möglichkeiten, Standorte weiterer Messprogramme mit einzubeziehen, wenn darin vergleichbare Temperaturmessungen durchgeführt werden. Von besonderem Interesse sind dabei Messstandorte unter realer Bewirtschaftung, deren Beobachtung lange zurückreicht (bis 1961). Bodentemperaturen werden z. B. erfasst in ICP Forests Level II, ICOS-D, Boden-Dauerbeobachtung (teilweise), Moormonitoring unter Wald sowie in bestimmten landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen und Feldlysimetern. Inwiefern sich diese eignen, ist bisher noch nicht betrachtet worden.

### **5.8.2 (Weiter-)Entwicklung von Indikatoren für die vier Verbundthemen**

Für alle Verbundthemen ist anhand von Repräsentanz-Kriterien (vgl. Kap. 5.5) zu ermitteln, welche Programme bzw. Standorte mit ihrer jeweiligen Messintensität (Untersuchungsumfang und Messintervalle) für eine Indikatoren-Entwicklung in Frage kommen und für eine möglichst flächendeckende Betrachtung des Bundesgebietes eingesetzt werden können.

Auch ist für alle Themen ein Lösungsansatz zu entwickeln, wie es gelingen kann, Messdaten von Standorten unterschiedlicher Eigenschaften und mit unterschiedlichem Ausgangszustand gemeinsam in einen Indikator zu integrieren. Dazu kann beispielsweise die an den einzelnen Standorten ermittelte Anzahl von Tagen o.ä. mit Schwellenwert-Überschreitungen dienen, die dann – ggf. für Szenarien ähnlicher Standortbedingungen – bewertet werden können.

Im Folgenden wird der Bezug vorhandener und künftig geplanter Messaktivitäten zu den eingangs skizzierten Ideen für Indikatoren im Rahmen der Weiterentwicklung der DAS-Berichterstattung (siehe Tabelle 11) hergestellt.

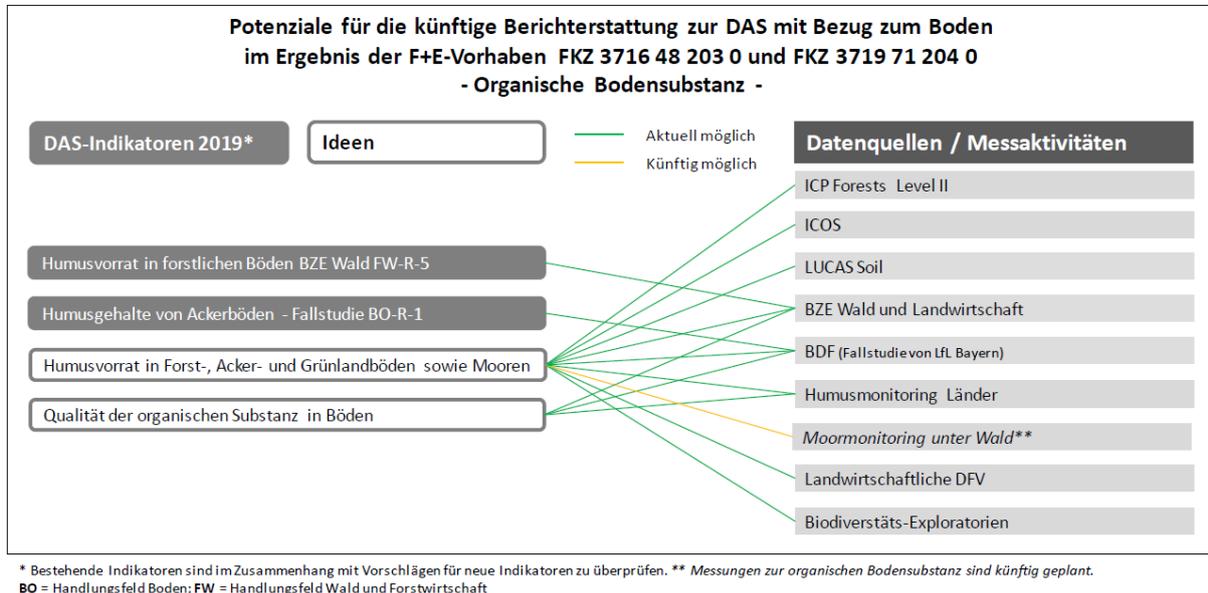
#### **5.8.2.1 Bodenbiologie**

Auf lange Sicht kann eine Verknüpfung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) mit dem Biologischen Messnetz der LUBW und den DFG-Biodiversitäts-Exploratorien sowie – durch künftig ergänzte Messungen – mit LUCAS Soil (ca. alle 3 Jahre) und auch der BZE Wald (ca. alle 15 Jahre) und ggf. einem ergänzten ICP Forests-Level II-Programm – in der Summe bundesweite Aussagen zur Bodenbiologie ermöglichen. In der Folge könnten erstmals neue Indikatoren wie



Fraktionierung, Stoffflüsse), mit denen Prognosen abgegeben werden können, wie sich Kohlenstoff-Dynamik (v. a. Freisetzung) unter wechselnden Bedingungen (Nutzung Temperatur usw.) ändert.

**Abbildung 13: Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für organische Substanz**



### 5.8.2.3 Bodenwasserhaushalt

Für den Bodenwasserhaushalt bieten sich Möglichkeiten, die Berichterstattung für den „Bodenwasservorrat in (Forst-, Acker- und Grünland-)Böden“ mit gemessenen Daten aus geeigneten Messprogrammen zu ergänzen oder auch den „Grundwasserstand in (nicht entwässerten) Mooren“ und die „Sickerwassermenge“ als neue Indikatoren hinzuzufügen (s. Abbildung 14). Aussagen zum Bodenwasservorrat an naturnahen Forststandorten sind zum einen weniger von zeitlich dynamischen Bewirtschaftungseinflüssen überprägt als landwirtschaftlich genutzte Standorte und können somit die Auswirkungen von Klimaänderungen besonders gut darstellen.

Zum anderen ist die Standardisierung der Methoden auf den forstlichen Beobachtungsstandorten weit fortgeschritten (ICP Forests Level II und daran angepasste Boden-Dauerbeobachtungsflächen), so dass hier standortbezogene Datenauswertungen der Bodenfeuchte und daraus abgeleiteter Größen denkbar sind.

Aus den aktuellen Arbeiten am Monitoringbericht zur DAS im Jahr 2023 ergeben sich Impulse für die weitere Arbeit auf Bundesebene. So wird beispielsweise aktuell für das Thüringer Monitoring (Monitoringbericht 2022) diskutiert, ob ergänzend zum DWD-Bodenwasserindikator auch Messdaten präsentiert werden können. Hierfür stehen Daten zu Waldböden aus dem Level II-Messprogramm zur Verfügung. Die methodischen Überlegungen hierzu können auch in das bundesweite Monitoring rückgespiegelt werden (mündl. Mittlg. K. Schönthaler, 24.04.2021).

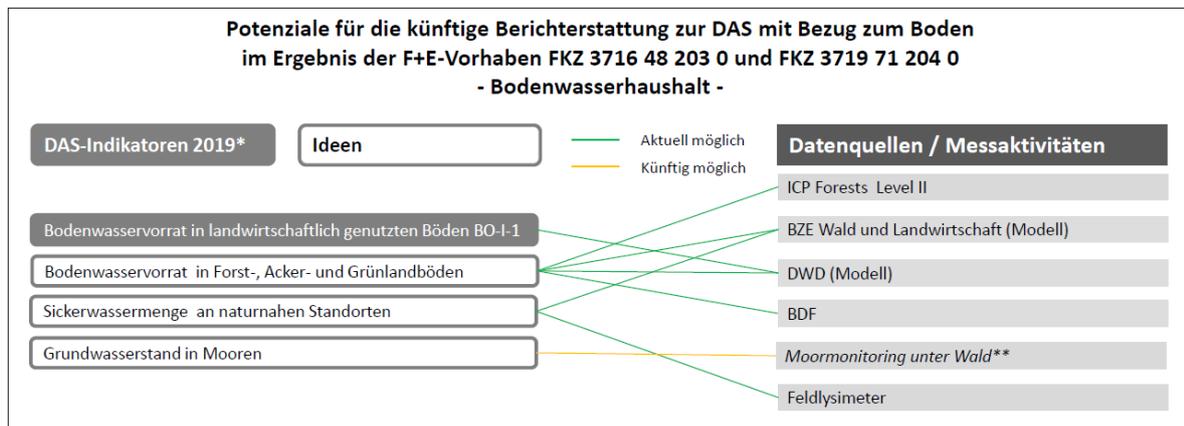
Unter den Bedingungen einer deutlich dynamischeren Bewirtschaftung ist es auf den landwirtschaftlich genutzten Böden schwieriger, die Klimaeinflüsse herauszuarbeiten. Die vorhandenen, wenn auch wenigen Messungen auf landwirtschaftlich genutzten Böden können perspektivisch dennoch genutzt werden.

Es stellt sich die Frage, ob Grundwasserstandsmessungen in nicht entwässerten Mooren für Fragen des Bodenwassers in Mooren genutzt werden können. Hier wäre zu prüfen, welche

Grundwassermessstellen in Mooren verfügbar sind, z. B. anhand der für den DAS-Monitoringbericht 2019 vorgenommenen Auswahl.

Die Nutzung von Daten zu Sickerwassermengen aus Lysimeteranlagen für die Indikatoren-Entwicklung erscheint schwierig. Um die Messergebnisse der einzelnen Stationen in die Fläche zu bringen, bedarf es wiederum komplexer Modellierungsansätze.

**Abbildung 14: Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für Bodenwasserhaushalt**



\* Bestehende Indikatoren sind im Zusammenhang mit Vorschlägen für neue Indikatoren zu überprüfen. \*\* Messungen zum Bodenwasserhaushalt sind künftig geplant.  
BO = Handlungsfeld Boden

#### 5.8.2.4 Bodenerosion

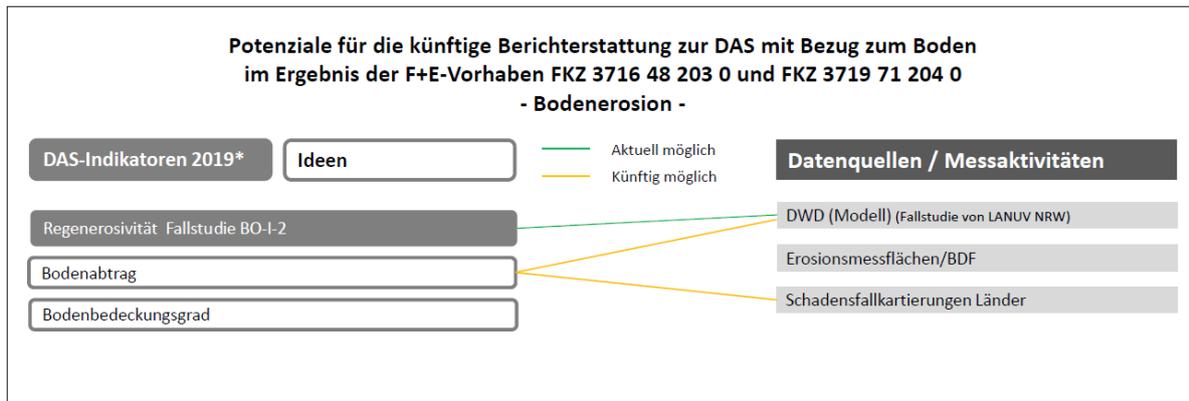
Für Bodenerosion können schadensfallabhängige Kartierungen, die konzeptionell in mehreren Bundesländern durchgeführt werden und nicht an fest definierte Standorte gebunden sind, auf ihre Eignung für die Indikatoren-Entwicklung geprüft werden, um – ergänzend zu Modellansätzen zur Regenerosivität – Beobachtungsdaten einzusetzen (vgl. Abbildung 15).

Hier fehlt bisher eine vertiefende Eignungsprüfung anhand von Angaben zu den eingesetzten Methoden, Erhebungszeiträumen und zur Datenqualität in den Schadensfallkartierungen. Zudem wird erwartet, dass auch hier – bei Einsatz verschiedener Erhebungsprogramme – eine Vergleichbarkeit durch die Festlegung von Erhebungsstandards herzustellen ist.

Auch an dieser Stelle können aktuelle methodische Überlegungen der Länder, z. B. Thüringen, einfließen (mündl. Mittlg. K. Schönthaler, 24.04.2021).

Inwiefern sich die in geringer Anzahl bestehenden Erosionsmessflächen mit ihrer unterschiedlichen Methodik für einen Indikatoransatz eignen, ist bisher noch nicht geprüft worden.

**Abbildung 15: Potenziale für die künftige DAS-Berichterstattung für Bodenerosion**

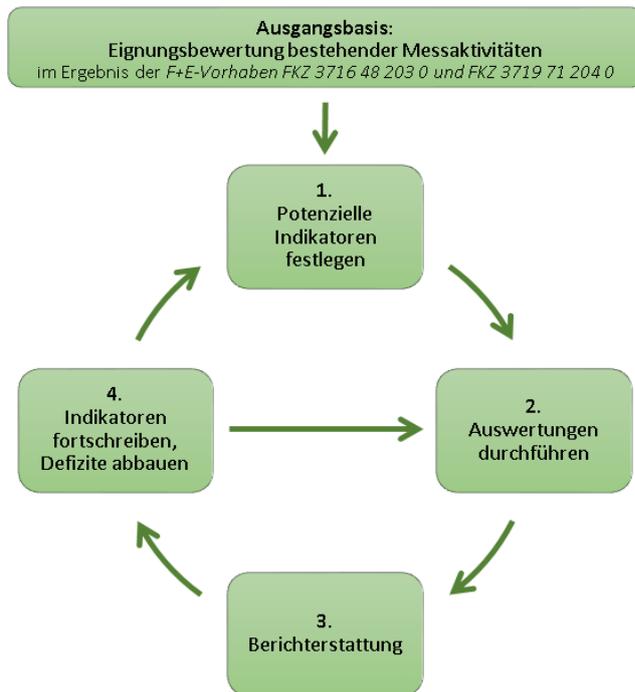


\* Bestehende Indikatoren sind im Zusammenhang mit Vorschlägen für neue Indikatoren zu überprüfen.  
BO = Handlungsfeld Boden

### 5.8.3 Aufgaben und erwartete Ergebnisse

Mit welchen Arbeitsschritten aus Messdaten des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds neue Aussagen für die Berichterstattung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel entwickelt werden können, wird in Abbildung 16 skizziert.

**Abbildung 16: Aufgaben zur Weiterentwicklung der DAS-Berichterstattung mit Hilfe des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds**



Die Ausgangsbasis bilden die Ergebnisse der Eignungsbewertung von den in Deutschland bestehenden Messaktivitäten aus den beiden F+E-Vorhaben zur Konzeption des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds (UBA 2020 und Kap. 4 / Teil A). Dort erfolgte die Auswahl von Hauptfragestellungen, nämlich Veränderungen der Bodenlebensgemeinschaft, der organischen Bodensubstanz, des Bodenwasserhaushalts und des Bodenabtrags durch Erosion. Zudem sind geeignete Messaktivitäten für die Hauptfragestellungen anhand von Stammdaten und Angaben zu Messgrößen und Methoden an einzelnen Untersuchungsstandorten identifiziert worden (siehe

nachfolgende Übersicht). Auf dieser Grundlage können in nachfolgenden Schritten Auswertungen durchgeführt und deren Ergebnisse für die Berichterstattung eingesetzt werden. In einem fortlaufenden Prozess sind die Indikatoren dann fortzuschreiben und zu optimieren (siehe Abbildung 16).

### Geeignete Messaktivitäten für Hauptfragestellungen (Messung von Zielgrößen)

#### Bodenbiologie:

- BDF in BW, BY, HH, RP, SH, ST, TH (Zoologie u./o. Mikrobiologie)
- Biologisches Messnetz in BW (Forst, Grünland) (Zoologie)
- Biodiversitäts-Exploratorien in drei Regionen in BB, BW, TH (Mikrobiologie)
- ggf. künftig BDF Niedersachsen (Zoologie)
- ggf. künftig LUCAS Soil (Zoologie + Mikrobiologie)
- ggf. künftig BZE Wald
- ggf. künftig ICP Forests Level II in BW, NI, ST und HE (gemeldet als potenziell geeignet)

#### Organische Bodensubstanz:

- BDF und Level II bundesweit
- BZE LW und BZE Wald sowie LUCAS Soil bundesweit
- Biodiversitäts-Exploratorien in drei Regionen in BB, BW, TH (Bodentiefe 10 cm)
- Biologisches Messnetz BW (meist nur Oberboden)
- Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche BE (Dahlem), BB (Thyrow), RP (Speyer), TH (Bad Salzungen), ST (Bad-Lauchstädt)
- ICOS-D (BY, BB, NW, TH, SN)
- Länder-Humusmonitoring (NW, BY)

#### Bodenwasserhaushalt:

- Intensiv-BDF und Level II bundesweit
- DWD Bodenfeuchte in BY, BB, NI, SN
- Feldlysimeter in BY, NW, ST, MV, BB

#### Bodenabtrag / Erosionsgefährdung:

- Erosionsmessflächen in BW, NI, ST, SH (Letztere ruhend bzw. extensiv betrieben, Veränderung Bodenaufbau, Nivellement)
- schadensfallabhängige Kartierungen in BY, MV, SN, ST, ggf. weitere

Bei der Fortschreibung der DAS-Berichterstattung und bei der Entwicklung von Ideen für neue Indikatoren ist es notwendig, die bereits in den Monitoringberichten der DAS eingesetzten Indikatoren zu berücksichtigen. Eine Abstimmung der Indikatoren verschiedener Handlungsfelder erfolgt im Rahmen des Berichterstattungsprozesses ressortübergreifend. Im Wesentlichen betrifft das die Handlungsfelder „Boden“, „Wald und Forstwirtschaft“ sowie „Landwirtschaft“. Ziel ist es, Überschneidungen zu vermeiden und das Medium Boden mit den verbreiteten Landnutzungsarten sachgerecht abzubilden.

Darüber hinaus sollten möglichst auch Querbezüge zwischen den Kernthemen des Verbunds (z. B. Zusammenhang der Artenzusammensetzung mit dem Gehalt und der Qualität der organischen Bodensubstanz) berücksichtigt werden.

Die Potenziale für eine künftige Berichterstattung können teilweise jetzt noch nicht erschlossen werden, da große Defizite in der Flächenabdeckung der bestehenden Datenquellen für Gesamt-

deutschland bestehen (z. B. Referenzlebensgemeinschaften, Qualität der organischen Substanz, Erosionsmessflächen und Schadensfallkartierungen für Erosion) (siehe auch Abbildung 9). Es sind Maßnahmen erforderlich, um Defizite zu beseitigen oder zu reduzieren, bevor eine Berichterstattung mit belastbaren Messdaten möglich ist (siehe auch Kap. 5.7.2.5).

Auch wenn erst Trendanalysen aufgrund einer eingeschränkten Vergleichbarkeit von Messdaten für einzelne Standorte vorgenommen werden müssen, sind jedoch schon Rückschlüsse für bestimmte Klima-, Nutzungs- und Bewirtschaftungsbedingungen möglich. Bis die Verfügbarkeit vergleichbarer Messdaten und ein hinreichend repräsentatives Messnetz gegeben sind, können Fallstudien für die Berichterstattung eingesetzt und nach und nach erweitert werden. Sind die Defizite der Messlandschaft in absehbarer Zeit nicht behebbar, können bundesweite Modellansätze eine Alternative darstellen (z. B. für Bodenabtrag, Bodenfeuchte oder Sickerwassermenge).

## 6 Fazit

Die in Deutschland langfristig beim Bund und in den Ländern sowie von Seiten der Forschung betriebenen Beobachtungs- und Erhebungsprogramme für Böden wurden erstmals programmübergreifend hinsichtlich ihrer Eignung für Zwecke des Klimafolgen-Bodenmonitorings bewertet. Im Fokus stand dabei das Ziel, zukünftig Aussagen treffen zu können, in welchem Maß sich in Deutschland unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung die Bodenlebensgemeinschaft, die organische Bodensubstanz, bodenhydrologische Kenngrößen sowie das Ausmaß von Bodenerosion durch Wasser und Wind verändern.

Die zum Zweck einer Eignungsbewertung angelegte Projektdatenbank beinhaltet rund 9.000 grundsätzlich geeignete Messtandorte und Untersuchungsflächen, die sich in unterschiedlicher Dichte über die gesamte Fläche der Bundesrepublik verteilen. Für alle diese Standorte wurden auf Anfrage des UBA von den Daten erhebenden oder von koordinierenden Stellen Stammdaten und detaillierte Angaben zu Messgrößen und deren Erfassungsmethoden zur Verfügung gestellt (z. B. zu Messintervallen oder zum Umfang der erfassten Begleitdaten zu Bodeneigenschaften, Klima und Bewirtschaftung). Diese bildeten die Grundlage für die im Projekt vorgenommene Eignungsbewertung.

Vertreten sind Standorte unterschiedlicher Messintensität, d. h. sie unterscheiden sich im Umfang der gemessenen Größen und in den Messintervallen. Eine Sicht auf einzelne Standorte war – auch innerhalb von standardisierten Messprogrammen – für die Eignungsbewertung unerlässlich, um grundlegende Standortcharakteristika zu kennen (z. B. Einrichtungsjahr, Ausgangsmaterial, Höhenlage, Ansprechpartnerin/Ansprechpartner). Informationen zum Messbeginn, zu Messintervallen und Methoden von Beobachtungen für Zwecke des Klimafolgen-Bodenmonitorings sind erst mit einer Sicht auf einzelne Messgrößen an den Standorten möglich. Die Vergleichbarkeit der Messkonzepte und Methoden ist beurteilt worden, um bundesweite oder zumindest überregionale Auswertungen von Messdaten von Standortgruppen und aus verschiedenen Programmen für bodenbezogene Fragen im Hinblick auf Klimafolgen und Bewirtschaftung zu erleichtern und auf den Weg bringen zu können.

Ideen für Auswertungen zur Weiterentwicklung der Berichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) ließen sich für alle Verbundthemen skizzieren. Damit einher gehen Empfehlungen zur zielgerichteten Anpassung und Ergänzung bodenbezogener Beobachtungen und Erhebungen, um Defizite in der Vergleichbarkeit von Probenahmekonzepten und Messmethoden sowie Defizite der Flächenabdeckung von Messdaten zu reduzieren.

Anhand der Untersuchungen, der Bewertung und der erarbeiteten Empfehlungen für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz ist das Konzept zum Aufbau des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds mit Empfehlungen zur Umsetzung konkretisiert und weiterentwickelt worden. Für die Verbundthemen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz sind – gegenüber dem bisherigen Forschungsstand – weitere Messprogramme in die Untersuchungen einbezogen worden. Dies sind BZE Landwirtschaft, Exploratorien zu funktioneller Biodiversitätsforschung, LUCAS Soil, Humus- und Biologische Monitoringprogramme der Länder, Nationales Biodiversitätsmonitoring in Agrarlandschaften, Moorbodenmonitoring, Edaphobase sowie Ökosystemmonitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen.

Für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz wurden Empfehlungen für Anpassungs- und Ergänzungsmaßnahmen formuliert, um den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund in die Praxis zu überführen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen beziehen sich z. B. auf Aspekte der Datenverfügbarkeit (Bereitschaft der Daten erhebenden Stellen, Daten zur Verfügung zu stellen, und

bisherige Umsetzung) sowie auf Lücken und Defizite der Messnetze im Hinblick auf Messintervall oder Flächenrepräsentativität (vgl. Kapitel 4.4.3.3 und 4.4.4.3).

Weiterhin wurden die Empfehlungen für die Umsetzung des Verbunds im themenübergreifenden Verbundkonzept überarbeitet und es wurden nach Möglichkeit Aussagen zu anfallenden Kosten gemacht, damit die einzelnen Akteure einschätzen können, was an zusätzlichen finanziellen und personellen Belastungen auf sie zukommt. Behandelt wurden weiterhin Fragen nach Wegen zur Gewährleistung der Datenvergleichbarkeit im Hinblick auf die eingesetzten Probenentnahme- und Untersuchungsmethoden sowie der technischen Konzeptumsetzung und Herstellung einer Datenkompatibilität (vgl. Kap. 5 / Teil B).

Gemeinsam mit den aus dem Vorgängervorhaben (UBA 2020) vorliegenden Ergebnissen der Eignungsbewertung und den formulierten Anpassungs- und Ergänzungsempfehlungen für die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion ergibt sich ein übergreifendes Gesamtkonzept für den Aufbau und die Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für die vier Verbundthemen. Es formuliert die Ziele und Aufgaben des Verbunds, nennt Grundprinzipien für den Betrieb und Qualitätskriterien für Verbundstandorte. Eine Organisationsstruktur des Verbunds mit Benennung der beteiligten Akteure und Gremien und deren Aufgaben wird vorgeschlagen. Dazu gehören ein Verbundbetreiber, eine Steuerungsgruppe, die Verbundmitglieder und die Datennutzer.

Die Empfehlungen für die Umsetzung des Verbunds umfassen organisatorische Maßnahmen und Fachaufgaben, die als notwendig oder empfohlen angesehen werden. Sowohl die themenspezifischen Empfehlungen für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz aus dem vorliegenden Bericht als auch jene für Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion aus UBA (2020) wurden in das vorliegende Konzept (siehe Kap. 5) eingearbeitet. Es kann in den Umsetzungsprozess und die dafür erforderlichen Abstimmungen eingebracht werden.

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Interesse, Bodendaten in einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund im Sinne einer Kooperation von Daten erhebenden Stellen einzubringen, ist in Deutschland bei nahezu allen Betreiberinnen und Betreibern von bodenbezogenen Messprogrammen und -aktivitäten vorhanden. Für über 9.000 Messstandorte liegen dem UBA die schriftlichen Interessensbekundungen der Messnetzbetreibenden vor, im Verbund mitzuwirken. Damit erfährt die Idee eines Messnetzverbunds eine sehr breite Unterstützung. Um dieses Potenzial zu nutzen, bedarf es einer Einrichtung bzw. Institution, die den Verbund inhaltlich, koordinativ und organisatorisch in die Praxis umsetzt.

Für den Verbundbetrieb weiterhin erforderlich sind fachliche, technische und organisatorische Werkzeuge wie ein Verbund-Manual (Handbuch der Verbund-Standards), ein Verzeichnis der Verbundstandorte mit Stammdaten und Angaben zu Messgrößen (Metadaten), Datenaustauschformate, Kooperations- und Nutzungsvereinbarungen sowie Öffentlichkeitsarbeit. Lage und Stammdaten der Verbundstandorte können künftig in einer Kartenanwendung im Internet veröffentlicht werden.

Als hilfreich wird es angesehen, wenn die bestehende Verwaltungsvereinbarung (VV) aus dem Jahr 1995 zwischen Bund und Ländern zum Datenaustausch im Umweltbereich bzw. deren Anhang Boden überarbeitet, aktualisiert und auf klimarelevante Fragestellungen erweitert wird.

Mit für den Verbund geeigneten Messstandorten wird eine – wenn auch nicht vollständige – Flächenabdeckung der Bundesrepublik für die Themen Bodenbiologie, organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt festgestellt. Für diese Themen werden in den bundesweiten bodenbezogenen Messprogrammen verbreitet standardisierte Erhebungsmethoden auf der Basis genormter Verfahren (DIN/ISO) eingesetzt. Die Standardisierung lässt dabei häufig Gestaltungsspielraum zu, z. B. um standörtliche Gegebenheiten berücksichtigen zu können oder auch weil ggf. nicht alle Arbeitsschritte und Aspekte der Datenerhebung einheitlich festgelegt werden können (z. B. Messtiefen, Zeitpunkt von Messungen im Jahr oder zu erhebende Begleitgrößen). Notwendig sind daher einerseits eine detaillierte Dokumentation der angewendeten Erhebungsmethoden, andererseits die Formulierung ergänzender Qualitätskriterien für die Datenerhebung.

Für Bodenerosion fehlen Messaktivitäten und Schadensfallkartierungen in weiten Teilen des Bundesgebietes. Es liegen Kartieranleitungen zur Erfassung aktueller Erosionsformen vor, jedoch fehlen länderübergreifende Standards zur flächenhaften Erfassung von Schadensereignissen. Bundesweit abgestimmte Verfahren zur Ableitung von Indikatoren und Referenzwerten sowie zur Bewertung von Veränderungen fehlen bisher noch für alle Verbundthemen.

Beim Bodenwasserhaushalt ist die Anzahl von Kernstandorten, die für die bundesweite Beobachtung von klimabedingten Veränderungen des Bodenwasserhaushalts in Frage kommen, für landwirtschaftliche Nutzungen und Hotspots (Feuchtstandorte) nicht ausreichend. Hier sind zusätzliche Messstandorte erforderlich, sofern nicht andere Programme wie Dauerfeldversuche, Grundwasserstands- und Moorüberwachung Alternativen darstellen. Konstante Bewirtschaftungsbedingungen bzw. zumindest lückenlos dokumentierte Bewirtschaftungsdaten sind im landwirtschaftlichen Bereich von Vorteil bzw. notwendig.

Prinzipiell wird empfohlen, die Themen organische Substanz und Bodenbiologie verstärkt zusammenzubringen und Veränderungen im Boden im Zusammenhang zu beobachten. Das ist im Hinblick auf die Schaffung von Synergien zwischen Fachbereichen und den fachübergreifenden Wissensaustausch sinnvoll und erforderlich.

Die Beantwortung der Fragen nach dem Ausmaß von durch Klimawandel und Bewirtschaftung bedingten Veränderungen des Bodenzustands ist für drei Themen durch eine punktuelle und gezielte Anpassung und Weiterentwicklung bestehender bodenbezogener Messaktivitäten und die Entwicklung geeigneter Auswertungskonzepte erreichbar (Bodenbiologie, organische Bodensubstanz, Bodenwasserhaushalt). Insbesondere für die Themen Bodenbiologie und Bodenerosion, aber auch für organische Bodensubstanz und Bodenwasserhaushalt, die heute auf wesentlich längere und umfangreichere Monitoringerfahrungen zurückgreifen können, sind darüber hinausgehende Aufgaben der methodischen Standardisierung von Datenerhebung und Methodendokumentation zu bewältigen.

Die für eine Teilnahme gemeldeten Messstandorte erfüllen zum aktuellen Zeitpunkt die für den Verbund formulierten Qualitätskriterien in unterschiedlichem Maß, so dass bestimmte Defizite reduziert werden müssen, um bundesweite und überregionale Aussagen treffen zu können. Die Defizite wurden in den beiden Forschungsvorhaben zur Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds herausgearbeitet und benannt. Daraus abgeleitete Empfehlungen für die weitere Bearbeitung der Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz im Hinblick auf Anpassung und Ergänzung umfassen folgende Punkte:

#### **Bodenbiologie (siehe Kapitel 4.4.3.3)**

- a) Ergänzung der Programme, die bereits für die Teilnahme am Messnetzverbund gemeldet worden sind
- b) Ergänzungen bodenbiologischer Untersuchungen an Standorten, die bisher nicht als Verbundstandorte gemeldet wurden
- c) Verbesserung der Vergleichbarkeit der Messnetzes
- d) Konzeption eines deutschlandweiten Messnetzes

#### **Organische Bodensubstanz (siehe Kapitel 4.4.4.3):**

- a) Verbesserung der Qualität der Dokumentation
- b) Erfassung von SOC-Vorräten
- c) Anpassung und Vereinheitlichung von Probenahmehäufigkeit, -zeitpunkt, Beprobungstiefe
- d) Erhöhung der Flächenrepräsentativität

Um den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund auf eine Berichterstattung, wie z. B. im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) auszurichten, ist ein Bezug zu Indikatoren herzustellen. Im Bericht dokumentierte Potenziale für die zukünftige Berichterstattung zum Themenfeld Boden und Klimawandel sollten durch die gemeinsame Entwicklung und Konzeption weiterer Bodenindikatoren ausgebaut und verstärkt genutzt werden. Dazu gehören

- ▶ die Nutzung von weiteren belastbaren Messdaten für vorhandene Bodenindikatoren der DAS-Berichterstattung,
- ▶ die Entwicklung weiterer Indikatoren, um die Bedeutung des Bodens für den Klimaschutz und die Anpassung an Klimaänderungen argumentativ besser belegen zu können und die Beobachtung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden mit belastbaren Messdaten und Zeitreihen untersetzen zu können (erste Vorschläge für neue Indikatoren sind in Kapitel 5.8 beschrieben) sowie
- ▶ weitere Abstimmungsprozesse, eine Anknüpfung an schon bestehende Vernetzungsbestrebungen sowie an bereits etablierte und funktionierende Kooperationen.

Eine Einordnung der Aktivitäten zur Initiierung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in verwandte Aktivitäten, z. B. jene des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität, des BonaRes-Programms, die Initiativen zum Aufbau einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), erscheint dringend notwendig, um die in der Praxis begrenzten Ressourcen für den Betrieb kostenintensiver Beobachtungs- und Erhebungsstandorte sowie für die notwendige methodische Weiterentwicklung effizient und ohne Doppelarbeit einzusetzen.

Die Umsetzung des Konzepts und der dauerhafte Betrieb eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds tragen zu einer vermehrten Nutzung und damit zu einer besseren Wertschöpfung des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebungen in Deutschland bei. Darüber hinaus werden die Beobachtung und Erforschung von Klimawandelfolgen durch flächendeckende Mess- und Erhebungsdaten erleichtert und langfristig verbessert.

Mit dem Einsatz moderner technischer Werkzeuge kann der große Fortschritt einer öffentlich transparenten Darstellung von Mess- und Erhebungsaktivitäten in Verwaltung und Forschung erreicht werden, ohne die Messdaten selbst öffentlich freizugeben. Wenn die Verbundmitglieder langfristig auch ausgewählte Messdaten öffentlich zur Verfügung stellen möchten, lassen sich technische Lösungen dafür anbinden.

Selbstverständlich ergeben sich durch den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund auch Synergien für andere Fragestellungen hinsichtlich der Veränderung des Bodenzustands, beispielsweise im Hinblick auf die Erfüllung weiterer Bodenfunktionen.

## 8 Quellenverzeichnis

adelphi, PRC, EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel, Umweltbundesamt, Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_24\\_2015\\_vulnerabilitaet\\_deutschlands\\_gegenueber\\_dem\\_klimawandel\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf). aufgerufen am 20.09.2021.

adelphi, EURAC, Bosch & Partner, Umweltbundesamt (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland, Umweltbundesamt, Climate Change 26/2021, Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021\\_teilbericht\\_zusammenfassung\\_bf\\_211027.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027.pdf). aufgerufen am 19.11.2021.

Arrouays. D.; Saby. N.P.; Boukir. H. et al. (2018): Soil sampling and preparation for monitoring soil carbon, in: Int. Agrophys. 2018;32(4):633-643. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0047>

BAFU, BLW & ARE (2021): Kompetenzzentrum Boden. Schweizweit engagiert für eine wertvolle Ressource. <https://ccsols.ch/de/home/>, aufgerufen am 30.04.2021.

Bamminger, C.; Hädicke, A.; Welp, G.; Amelung, W.; Herbst, M.; Schilli, C.; Apel, B.; Heggemann, T. (2019): Ergebnisse aus 10 Jahren Humusmonitoring auf Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen, Tagungsbeitrag Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, 24.08.-29.08.2019 in Bern.

Barth, N.; Brandtner, W.; Cordsen, E.; Dann, T.; Emmerich, K.-H.; Feldhaus, D.; Kleefisch, B.; Schilling, B. & Utermann, J. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Ad-hoc-AG Boden-Dauerbeobachtung des Ständigen Ausschusses Informationsgrundlagen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), in: Loseblattwerk Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser 32. Lfg. XI/00, 33. Lfg. III/01, hg. v. Prof. Dr. Günther Bachmann, Prof. Dr. Wilhelm König und Dr. Jens Utermann.

Bellamy. P.H.; Loveland. P.J.; Bradley. R.I.; Lark. R.M.; Kirk, G.J. (2005): Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003, in: Nature 437(7056): 245-248.

BfN Bundesamt für Naturschutz (2008): Biogeografische Regionen und naturräumliche Haupteinheiten Deutschlands. [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/natura2000/Naturraeume\\_Deutschlands.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/natura2000/Naturraeume_Deutschlands.pdf), aufgerufen am 07.10.2020.

BfN Bundesamt für Naturschutz (2020): Monitoring und Indikatoren für den Naturschutz. <https://www.bfn.de/themen/monitoring.html>, aufgerufen am 08.10.2020.

BfN Bundesamt für Naturschutz (2021): Nationales Monitoringzentrum zur Biodiversität. <https://www.monitoringzentrum.de/>, aufgerufen am 26.04.2021.

BfN Bundesamt für Naturschutz (2021): Pressemitteilung zum Bodenreport. Wie Landwirtschaft und Naturschutz gemeinsam die Vielfalt im Boden fördern können. [https://www.bfn.de/presse/pressemitteilung.html?no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=7034&cHash=6dc683409505c5b4dbf6508405df900e](https://www.bfn.de/presse/pressemitteilung.html?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=7034&cHash=6dc683409505c5b4dbf6508405df900e), aufgerufen am 30.04.2021

BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): MonViA - Das bundesweite Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften. <https://www.agrarmonitoring-monvia.de/> aufgerufen am 26.04.2021.

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Grobkonzept für das nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität. Entwurf BMU. Stand: 30.09.2020. <https://www.bmu.de/download/grobkonzept-fuer-das-nationale-monitoringzentrum-zur-biodiversitaet/>. aufgerufen am 27.04.2021

Braun-Blanquet, J. J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde, 3. Aufl., Wien/New York.

Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. [https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf), aufgerufen am 05.05.2021

Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. [https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan\\_anpassung\\_klimawandel\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf), aufgerufen am 05.05.2021

Capriel, P. & Seiffert, D. (2009): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Schriftenreihe 10, 2009.

Capriel, P., 2013. Trends in organic carbon and nitrogen contents in agricultural soils in Bavaria (south Germany) between 1986 and 2007. Eur. J. Soil Sci. 64, 445–454.

Conant, R.T., Ryan, M.G., Ågren, G.I., Birge, H.E., Davidson, E.A., Eliasson, P.E., Evans, S.E., Frey, S.D., Giardina, C.P., Hopkins, F.M., Hyvönen, R., Kirschbaum, M.U.F., Lavelle, J.M., Leifeld, J., Parton, W.J., Megan Steinweg, J., Wallenstein, M.D., Martin Wetterstedt, J.Å., Bradford, M.A., 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates - synthesis of current knowledge and a way forward. Global Change Biology 17, 3392–3404.

Deutscher Bundestag (2020): Zweiter Fortschrittsbericht der Bundesregierung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 19/23671. 22.10.2020 (Vorabfassung).

Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie, Stuttgart.

Dittmer, S.; Schrader, S. (2000): Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil, in: Pedobiologia 44: 527-538.

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2021): Bodenerosion durch Wasser – Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. Merkblatt DWA-M921

DWD Deutscher Wetterdienst (2020): Hydrometeorologische Rasterwerte (Hydromet). <https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/hydrometrasterwerte/node.html>. aufgerufen am 30.04.2021

DWD Deutscher Wetterdienst (2020a): Deutscher Klimaatlas. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html), aufgerufen am 30.09.2020.

Eller, B.H. & Bettany, J.R. (1995): Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes, [https://digitalcommons.usu.edu/aspen\\_bib/1968/](https://digitalcommons.usu.edu/aspen_bib/1968/) / FAO (2020): A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb0509en>, aufgerufen am 14.10.2021.

FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC (2020a). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

FAO-ITPS (2020): Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management. Rome, FAO.

Finck, P.; Heinze, S.; Raths, U.; Riecken, U.; Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands, 3. fortgeschriebene Fassung, Naturschutz und Biologische Vielfalt 156.

Flessa, H.; Don, A.; Jacobs, A.; Dechow, R.; Tiemeyer, B.; Poeplau, C. (2019): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands - Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, hg. v. Thünen Institut für Agrarklimaschutz. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

GAFa (2014): Handbuch Forstliche Analytik HFA, Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich, Hg. vom Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 5. Ergänzung 2014.

Gisi, U.; Schenker, R.; Schulin, R.; Stadelmann, F.X.; Sticher, H. (1997): *Bodenökologie*, 2. Aufl., Stuttgart/New York.

Goidts, E., Van Wesemael, B., 2007. Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955–2005). *Geoderma* 141, 341–354.

Griegel, A. (2012): *Collembolen an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg. Aufnahme 2011 und Vergleich mit den Erhebungen 1986 bis 2003, Gutachten, Report Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW.*

Grosse, M. & Hierold, W. (2019): Long-term Field Experiments in Germany. Dataset. <https://doi.org/10.20387/bonares-3tr6-mg8r>

Gubler, A.; Wächter, D.; Schwab, P.; Müller, M. & Keller, A. (2019): Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends, *Environmental Monitoring and Assessment* 191, 277. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7435-y> [4.6.19]

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K., 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Glob. Chang. Biol.* 19, 1456–1469.

Hug, A.-S., Gubler, A., Gschwend, F., Widmer, F., Oberholzer, H., Frey, B., Meuli, R.G. (2018): NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012–2016 Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science* Nr. 63 / 2018. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/38019>. aufgerufen am 28.04.2021

Huschek, G.; Krenzel, D.; Kayser, M.; Bauriegel, A.; Burger, H. (2004): Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden- und Dauerbeobachtung der Länder. Reihe Texte | 50/2004. 109 S. Forschungskennzahl 201 71 244. Verlag Umweltbundesamt.

ICP Forests (2016): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Program Co-ordinating Centre (Hrsg.), Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde. <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>

ISO International Organization for Standardization (2006a): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms. ISO 23611-1. Geneva, Switzerland.

ISO International Organization for Standardization (2006b): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 2: Sampling and extraction of microarthropods (Collembola and Acarina). ISO 23611-2. Geneva, Switzerland.

ISO International Organization for Standardization (2007): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 3: Sampling and soil extraction of enchytraeids. ISO 23611-3. Geneva, Switzerland.

Jacobs, A.; Flessa, H.; Don, A.; Heidkamp, A.; Prietz, R.; Dechow, R.; Gensior, A.; Poeplau, C.; Riggers, C.; Schneider, F.; Tiemeyer, B.; Vos, C.; Wittnebel, M.; Müller, T.; Säurich, A.; Fahrion-Nitschke, A.; Gebbert, S.; Jaconi, A.; Kolata, H.; Laggner, A. et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 64. <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>

Kaufmann-Boll, C. & Kappler, W. (2021): Empfehlungen für die Aktualisierung der Steckbriefe für Bodendaten. Kurzbericht im Forschungsvorhaben FKZ 3716 48 203 0 (unveröffentlicht).

KBU Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020): Position Boden und Biodiversität – Forderungen an die Politik, Juli 2020, [bit.ly/2dowYYI](https://bit.ly/2dowYYI).

Kühnel A, Garcia-Franco N, Wiesmeier M, Burmeister J, Hobley E, Kiese R, Dannenmann M, Kögel-Knabner I (2019): Controlling factors of carbon dynamics in grassland soils of Bavaria between 1989 and 2016. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 118-128.

Kühnel A, Wiesmeier M, Kögel-Knabner I, Spörlein P (2020): Veränderungen der Humusqualität und -quantität bayerischer Böden im Klimawandel. UmweltSpezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof.

LABO (2021): Methodik der statistischen Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung – Teil 2. LFP-Projekt B 1.21. Leistungsbeschreibung (unveröffentlicht).

LANUV (2016): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen: Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016, LANUV-Fachbericht 74, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV), Recklinghausen.

LANUV Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (2018): Klimafolgenmonitoring. Indikatoren – Regenerosivität. <https://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/index.php?indikator=12&aufzu=4&mode=indi>, aufgerufen am 26.04.2021.

LANUV Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (2019): Klimafolgenmonitoring. Indikatoren – Bodentemperatur. <https://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/index.php?indikator=11&aufzu=4&mode=indi>, aufgerufen am 26.04.2021.

Lazar, S.; Kaufmann-Boll, C.; Kastler, M; Molt, C., Rinklebe, J.; Schilli, C. Freibauer, A.; Wellbrock, N. (2014): Konzeption eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds. Bodendaten – Umsetzung der Handlungsempfehlungen aus dem BOKLIM-Projekt (unveröffentlicht).

Lee, K. E. (1985): Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use, Sydney.

Lehmann, J.; Hansel, C.M.; Kaiser, C.; Kleber, M.; Maher, K.; Manzoni, S.; Nunan, N.; Reichstein, M.; Schimel, J.P.; Torn, M.S.; Wieder, W.R. & Kögel-Knabner, I. (2020): Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity, in: Nature Geoscience 13: 529–534. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0612-3>

Leifeld, J.; Ammann, C.; Neftel, A. & Fuhrer, J. (2011): A comparison of repeated soil inventory and carbon flux budget to detect soil carbon stock changes after conversion from cropland to grasslands, in: Global Change Biology 17:3366–3375.

Lettens, S., van Orshoven, J., van Wesemael, B., Muys, B. & Perrin, D. Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. Glob. Change Biol. 11, 2128–2140 (2005).

LfU Landesamt für Umwelt Bayern (2017): Indikator-Kennblätter – Anlage 2 zur Machbarkeitsstudie „Indikatoren für Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern“. Indikatoren-Kennblatt Humusentwicklung. Bearbeitung: Bosch & Partner GmbH, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop\\_app000007?SID=196581879&ACTIONxSESSx-SHOWPIC\(BILDxKEY:%27lfu\\_klima\\_00151%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF\\_2%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=196581879&ACTIONxSESSx-SHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_klima_00151%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF_2%27)) aufgerufen am 26.04.2021.

Lorenz, K. & Lal, R. (2018): Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5>

Loustau, D.; Jolivet, C.; Lafont, S.; Klumpp, K.; Papale, D. & Arrouays, D. (2017): ICOS Ecosystem Instructions for Soil Samples Collection and Preparation (Version 20200319), ICOS Ecosystem Thematic Centre. <https://doi.org/10.18160/k3yc-td6h>

LUBW Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (2016): Indikatorbasiertes Klimafolgenmonitoring für Baden-Württemberg. Indikator-Factsheet „Regenwurmfauna“. Bearbeitung: Bosch & Partner GmbH. [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539850/I-BO-2\\_Indikator\\_Regenwurmfauna.pdf/3b903edb-ae90-402d-acca-facc2115730d](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539850/I-BO-2_Indikator_Regenwurmfauna.pdf/3b903edb-ae90-402d-acca-facc2115730d). aufgerufen am 26.04.2021.

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2020): Insektenmonitoring. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/insektenmonitoring>, aufgerufen am 08.10.2020.

- Marx, M.; Schilli, C.; Rinklebe, J.; Kastler, M.; Molt, C.; Kaufmann-Boll, C.; Lazar, S.; Lischeid, G.; Körschens, M. (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, Forschungsbericht zum Umweltforschungsplan des BMU, FKZ 3711 71 213. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau (Hrsg.), UBA TEXTE 26/2016.
- Meersmans, J., Van Wesemael, B., Goidts, E., Van Molle, M., De Baets, S., De Ridder, F. (2011): Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grasslands, 1960–2006. *Glob. Chang. Biol.* 17, 466–479.
- Österle, H.; Werner, P.C. & Gerstengarbe, F.-W. (2006) Qualitätsprüfung, Ergänzung und Homogenisierung der täglichen Datenreihen in Deutschland, 1951-2003: ein neuer Datensatz, Poster, 7. Deutsche Klimatagung. Klimatrends: Vergangenheit und Zukunft, München.
- Poeplau, C.; Vos, C.; & Axel, D. (2017): Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content, in: *Soil*, 3(1), 61.
- Ponge, J.F.; Gillet, S.; Dubs, F.; Fedoroff, E.; Haese, L.; Sousa, J.P.; Lavelle, P. (2003): Collembolan communities as bioindicators of land use intensification, in: *Soil Biology and Biochemistry* 35: 813-826.
- Post, W.M.; Izaurralde, R.C.; Mann, L.K.; & Bliss, N. (1999): Monitoring and verifying soil organic carbon sequestration, in: Rosenberg, N.J.; Izaurralde, R.C. & Malone, E. L. (Hrsg.): *Carbon sequestration in soils: science, monitoring, and beyond*, 41–66.
- Puissant, J.; Mills, R.T.E.; Robroek, B.J.M.; Gavazov, K.; Perrette, Y.; De Danieli, S.; Spiegelberger, T.; Buttler, A.; Brun, J.-J. & Cécillon, L. (2017): Climate change effects on the stability and chemistry of soil organic carbon pools in a subalpine grassland, in: *Biogeochemistry* 132, Nr. 1: 123–39.  
<https://doi.org/10.1007/s10533-016-0291-8>.
- Reijneveld, A., VanWensem, J., Oenema, O., 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152, 231–238.
- Riecken, U.; Finck, P.; Rath, U.; Schröder, E. & Szymank, A. (2003): Standard-Biotoptypenliste für Deutschland, 2. Fassung, Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 75: 65 S. + Anhänge.
- Riggers, C.; Poeplau, C.; Don, A.; Frühauf, C. & Dechow, R. (2021): How much carbon input is required to preserve or increase projected soil organic carbon stocks in German croplands under climate change? in: *Plant Soil* 460: 417–433.
- Römbke, J.; Jänsch, S.; Roß-Nickoll, M.; Toschki, A. (2014): Nutzungsmöglichkeiten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder für das Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. BfN-Skripten 369. <http://www.bfn.de>. aufgerufen am 22.04.2021.
- Rumpel, C. & Kögel-Knabner, I. (2011): Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle, in: *Plant and Soil* 338(1-2):143-158.
- Rumpel, C; Amiraslani, F.; Chenu, C.; Garcia C.M.; Kaonga, M.; Koutika, L.-S.; Ladha, J.; Madari, B.; Shirato, Y.; Smith, P.; Soudi, B.; Soussana, J-F.; Whitehead, D. & Wollenberg, E. (2020): The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy, in: *Ambio* 49, 350–360. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01165-2>
- Saby, Npa, Arrouays, D., Antoni, V., Lemerrier, B., Follain, S., Walter, C., Schwartz, C., 2008. Changes in soil organic carbon in a mountainous French region, 1990–2004. *Soil Use Manag.* 24, 254–262.
- Schulte, U. (2005): Biologische Vielfalt in nordrhein-westfälischen Naturwaldparzellen. *LÖBF-Mitteilungen*, Heft 03/2005, 43-48.

Schweitzer, K.; Köhn, W.; Chmielewski, F.-M. (2017): Lehr- und Forschungsstation, Standort Berlin-Dahlem Dauerversuche und Demonstrationsanlagen, Humboldt-Universität zu Berlin, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Lehr- und Forschungsstation / Bereich Freiland (Hrsg.).

Sleutel, S., De Neve, S., Hofman, G. (2007): Assessing causes of recent organic carbon losses from cropland soils by means of regional-scaled input balances for the case of Flanders (Belgium). *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 78, 265–278.

Sleutel, S., De Neve, S., Hofman, G., et al. (2003) : Carbon stock changes and carbon sequestration potential of Flemish cropland soils. *Glob. Chang. Biol.* 9, 1193–1203.

Smith, P. et al. (2020): How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal, in: *Global Change Biology* 26(1): 219-241.

Statistisches Bundesamt (2019): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>. Stand November 2019, aufgerufen am 30.09.2020.

Steffens, M.; Bünemann-König, E.; Mäder, P.; Fließbach, A. (2019): Bodenqualitätsindikatoren. Abschlussbericht im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt. 01. April 2019. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL (unveröffentlicht).

Stockmann, U.; Adams, M.A.; Crawford, J.W.; Field, D.J.; Henakaarchchi, N.; Jenkins, M.; Minasny, B.; McBratney, A.B.; de Remy de Courcelles, V.; Singh, K.; Wheeler, I.; Abbott, L.; Angers, D.A.; Baldock, J.; Bird, M.; Brookes, P.C.; Chenu, C.; Jastrow, J.D.; Lal, R.; Lehmann, J.; O'Donnell, A.G.; Parton, W.J.; Whitehead, D.; Zimmermann, M. (2013): The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon, in: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164:0-99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>

Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J., Kristensen, K., et al. (2014): Changes in carbon stocks of Danish agricultural-mineral soils between 1986 and 2009. *Eur. J. Soil Sci.* 65, 730–740.

Thielemann, U. (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktettmethode, in: *Pedobiologia* 29: 296-302.

Thünen-Institut (2021): Aktuell – Bundesweites Moorbodenmonitoring für den Klimaschutz gestartet (Mitteilung vom 11.06.2021). <https://www.thuenen.de/de/ak/aktuelles-und-service/detail-aktuelles/news/detail/News/bundesweites-moorbodenmonitoring-fuer-den-klimaschutz-gestartet/>, aufgerufen am 06.09.2021.

Toschki, A. (2008): Eignung unterschiedlicher Monitoring-Methoden als Grundlage zum Risk-Assessment für Agrarsysteme - Am Beispiel einer biozöologischen Reihenuntersuchung und einer Einzelfallstudie, Dissertation RWTH Aachen.

Toschki, U. Burkhardt, H. Haase, H. Höfer, S. Jänsch, J. Oellers, J. Römbke, M. Roß-Nickoll, J.-A. Salamon, R. Schmelz, B. Scholz-Starke, D. Russell (2021): Die Edaphobase-Länderstudien - Synökologische Untersuchungen von Bodenorganismen in einem Biotop- und Standortgradienten in Deutschland 2014-2018. *Peckiana* 14, 367 S.

UBA Umweltbundesamt (2011): Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung, UBA-Text Nr. 65/2011, Dessau-Roßlau. Bearbeitung: Kaufmann-Boll, C.; Kappler, W.; Lazar, S.; Meiners, G.; Tischler, B.; Baritz, R.; Düwel, O., Hoffmann, R.; Utermann, J.; Makeschin, F.; Abiy, M.; Rinklebe, J.; Prüß, A.; Schilli, C.; Beylich, A.; Graefe, U.

UBA Umweltbundesamt (2012): Bodendaten in Deutschland. 2. Auflage. Dessau.

UBA Umweltbundesamt (2011): Methoden-Code und Umgang mit Verfahrenswechseln. Teil A des Abschlussberichts zum F+E-Vorhaben Auswertung der Veränderungen des Boden-zustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze, UBA-Texte 90/2011, Dessau-Roßlau. Bearbeitung: Schilli, C.; Lischeid, G.; Kaufmann-Boll, C.; Lazar, S.; Rinklebe, J.

UBA Umweltbundesamt (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das\\_monitoringbericht\\_2019\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf), aufgerufen am 22.04.2021.

UBA Umweltbundesamt (2020): Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds. Abschlussbericht zum Vorhaben FKZ 3716 48 203 0. UBATexte 41/2020 Dessau. Bearbeitung: Kaufmann-Boll, C.; Niederschmidt, S.; Wurbs, D.; Steininger, M.; Bamminger, C.; Kastler, M.; Müller, F. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-02\\_texte-41-2020\\_klimafolgenbodenmonitoringverbund\\_korr\\_2020-04-09.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-02_texte-41-2020_klimafolgenbodenmonitoringverbund_korr_2020-04-09.pdf). aufgerufen am 22.04.2021

UBA Umweltbundesamt (2020a): Bodendaten in Deutschland. 3. Auflage. UBATexte 52/2020 Dessau. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/bodendaten-in-deutschland-0>, aufgerufen am 12.04.2021.

UBA Umweltbundesamt (2020b): Klimafolgen Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland>, aufgerufen am 30.09.2020.

UBA Umweltbundesamt (2020c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Klima | Energie. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2018. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission.

Upson, Matthew A.; Burgess, Paul J.; Morison, J. I. L. (2016): Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.002>, <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/10504>

Van Straalen, N.M. (1997): Community structure of soil arthropods as a bioindicator of soil health, in: Pankhurst, C.; Doube, B.M. & Gupta, V.V.S.R. (Hrsg.): Biological Indicators of Soil Health, CAB International, New York: 235-264, aufgerufen am 14.10.2021.

von Lützwow, M.; Kögel-Knabner, I. (2009): Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition - what do we know? *Biol Fertil Soils*, 46:1–15.

Wald und Holz NRW (2021): Das Naturwaldzellen-Programm Nordrhein-Westfalen. <https://www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/naturwaldzellen/naturwaldzellen-programm-in-nrw>, aufgerufen am 26.04.2021.

Wellbrock, N.; Bolte, A.; Flessa, H. (Hrsg.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008.: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, DOI:10.3220/REP1473930232000.

Wendt, J.W.; Hauser, S. (2013): An equivalent soil mass procedure for monitoring soil organic carbon in multiple soil layers, in: *European Journal of Soil Science* 64 (1), 58–65. <https://doi.org/10.1111/ejss.12002>

Wiemers, D.; Musche, M.; Striese, M.; Kühn, I.; Winter, M.; Denner, M. (2013): Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität. Teil 2: Weiterentwicklung des Monitoringkonzeptes und Auswertung ausgewählter vorhandener Daten, Schriftenreihe des LfULG, Heft 25/2013.

Wiesmeier, M., Hübner, R., Kögel-Knabner, I. (2015): Stagnating crop yields: An overlooked risk for the carbon balance of agricultural soils? *Science of the Total Environment*, 536, 1045-1051

Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C., Maier, H., Frühauf, C., Hübner, R., Kühnel, A., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I. (2016): Projected changes of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. *Nature Scientific Reports*, 6, 32525.

Wiesmeier, M.; Mayer, S.; Paul, C.; Helming, K.; Don, A.; Franko, U.; Steffens, M.; Kögel-Knabner, I. (2020): CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen, *BonaRes Series* 2020/1, <https://doi.org/10.20387/BonaRes-f8t8-xz4h>.

Wordell-Dietrich, P.; Don, A. & Helfrich, M. (2017): Controlling factors for the stability of subsoil carbon in a Dystric Cambisol, in: Geoderma. 304, 40-48, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.08.023>

Zaborski, E.R. (2003): Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms, in: Applied Soil Ecology 22: 87–95.

## A Anhang: Fragebogen zur Abfrage von Informationen über Standorte des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds

### Zweck der Zusammenstellung von Standortdaten

Auf europäischer und bundesweiter Ebene sind wir bisher unzureichend in der Lage, Aussagen über die konkrete Betroffenheit der Böden anhand belastbarer Messdaten und zuverlässiger Zeitreihen zu treffen. Hierzu ist es erforderlich, die Aktivitäten der verschiedenen Ressorts zum Bodenmonitoring und zur Erhebung des Bodenzustands weiter zu vernetzen und auszubauen (Auszug aus dem Aktionsplan Anpassung der Bundesregierung für das Handlungsfeld Boden).

Ein bundesweiter Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund bietet die Chancen,

- ▶ zur bundesweiten Erfassung, Überwachung und Dokumentation des Ist-Zustands der Böden in Deutschland mit Bezug auf den Klimawandel und seine Folgen beizutragen. In Phase I: Wasserhaushalt und Erosion; in Phase II: organische Substanz, Bodenbiologie sowie
- ▶ Grundlagen zu schaffen, um die Datenqualität zu verbessern,
- ▶ zur verstärkten Nutzung und damit zu verbesserter Wertschöpfung des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebungen in Deutschland beizutragen und
- ▶ die Arbeiten der Bundesregierung zur Klimaanpassung und zu den Folgen der Klimaänderungen mit belastbaren Daten und Zeitreihen zu unterstützen.

Das erklärte gemeinsame Ziel des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und des UBA ist es, mit dem Verbund die Umsetzung der von der Bundesregierung in 2008 beschlossenen Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), des darauf aufbauenden Aktionsplans Anpassung (APA) sowie des Monitoringberichts zur DAS aus bodenfachlicher Sicht zu unterstützen.

Dies soll geschehen, indem die für die weitere Arbeit dringend erforderlichen belastbaren Aussagen über die Veränderungen des Bodenzustands, der Bodenqualität und der Bodenfunktionen durch den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund bereitgestellt werden.

Der Verbund baut dabei auf der Integration von bereits bestehenden, langfristig untersuchten Messstandorten auf, deren Weiterbetrieb nach aktuellem Stand gesichert ist. Darüber hinaus erfolgt die Teilnahme am Verbund auf freiwilliger Basis. Bisher wurden durch die einzelnen datenerhebenden Stellen rund 5.800 Messstandorte für den Verbund gemeldet.

Aktuell fragen wir die Bereitschaft zur Mitarbeit im Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund bei den Institutionen an, die langfristig und länderübergreifend Mess- und Erhebungsprogramme für Böden mit Bezug zu organischem Kohlenstoff und Bodenbiologie betreiben. Nach einer ersten allgemeinen Abfrage in 2013 und einer zweiten, auf Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion ausgerichteten Abfrage in 2017 ist dies die dritte Abfrage im Rahmen der Konzeption des Messnetzverbunds.

Für Standorte, die für den Messnetzverbund gemeldet werden, ist ein so genannter Erheber-Geodatensatz erforderlich. Dieser enthält die Messstandorte einer Daten-erhebenden Stelle in Form von Punkt-Geoobjekten in Verbindung mit beschreibenden Attributen wie z. B. aktuelle Flächennutzung, Messgrößen und Messhäufigkeit. Die Summe aller Erheber-Geodatensätze bildet den bundesweiten Geodatensatz aller Verbundstandorte.

Die Angaben zu den Standorten werden für eine dezidierte Eignungsprüfung im Rahmen des laufenden F+E-Vorhabens „Konzeption und Umsetzung des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz“ (UBA-Vorhaben FKZ 3719 71 204 0, 2019-2020) verwendet. Dazu werden die mitgeteilten Angaben ausgewertet und die Verbund-Standorte kartographisch dargestellt. Zudem wird geprüft, inwieweit sich die Daten für ein überregionales Klimafolgen-Bodenmonitoring im Hinblick auf die Themen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz nutzen lassen.

Nach dem Betriebsstart des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds soll eine Kartenanwendung öffentlich im Internet zur Verfügung stehen. Hier sollen Standorte mit Eignung für die vier Themen organischer Kohlenstoff, Bodenbiologie, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion recherchiert werden können. Datennutzer aus Forschung und Verwaltung können dann Messdaten für Klimafolgenabschätzungen bei den erhebenden Stellen anfragen und für Auswertungen nutzen. Dies soll vonseiten des Umweltbundesamts durch Begleitprojekte zur Datenauswertung unterstützt werden. Die Pflege und die Fortschreibung des Geodatensatzes der Verbundstandorte soll eine Koordinierungsstelle beim Umweltbundesamt übernehmen. Bevor eine Veröffentlichung von Standortdaten in der Kartenanwendung erfolgt, wird bei den Betreibern die Einwilligung für die Veröffentlichung von Standortdaten und personenbezogenen Angaben angefragt. Ohne Vorliegen dieser Einwilligungen erfolgt keine Veröffentlichung.

Das Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds in Deutschland von August 2019 liegt den Unterlagen bei (Kapitel 8 des Forschungsberichts zum UBA-Vorhaben FKZ 3716 48 203 0).

#### **Welche Mess- und Erhebungsstandorte können am Verbund teilnehmen?**

Für Verbundstandort gelten folgende Aufnahmebedingungen:

- ▶ Am Standort werden Ziel- und Begleitgrößen für die Fragestellung des Verbunds „*In welchem Maß verändern sich Bodenzustand und Bodenqualität unter den Bedingungen von Klimawandel und Bewirtschaftung?*“ mit Bezug auf eines oder mehrere der Themen organischer Kohlenstoff, Bodenbiologie, Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion erfasst (siehe Tabelle 12).
- ▶ Die Messdaten der Ziel- und Begleitgrößen (s. Tabelle 12) werden fortlaufend, d. h. auch künftig erhoben und weisen keine maßgeblichen Messlücken auf.
- ▶ Die Messdaten sind repräsentativ für eine jeweils definierte Bezugsfläche und Bezugstiefe im Boden. Abgesichert wird dies durch ein geeignetes Mess-Konzept bzw. Probenentnahmeschema, hinreichende Parallel-Messungen in Feld und Labor sowie eine entsprechende Qualitätssicherung.
- ▶ Die Mess- und Erhebungsmethoden sind vollständig dokumentiert (entweder für jeden Einzelstandort oder für alle Standorte eines Programms).
- ▶ Es liegt eine bodenkundliche Profilbeschreibung inkl. Angaben zu Horizont-mächtigkeiten vor.
- ▶ Die Messdaten sind für Zwecke des Klimaschutzes und der Klimafolgenforschung freigegeben.
- ▶ Die Messdaten sind fehlerbereinigt und qualitätsgesichert.
- ▶ Die Messdaten werden elektronisch gespeichert.

**Tabelle 12: Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds**

Für diese Größen werden methodische Detailangaben benötigt.

Thema	Ziel- oder Begleitgröße
Bodentemperatur	Bodentemperatur
Organische Bodensubstanz	Organischer Kohlenstoff-Gehalt, z. B. in mg/g
	Organischer Kohlenstoff-Vorrat, z. B. in t/ha
	Qualität der organischen Substanz, z. B. Fraktionen des organischen Kohlenstoffs, C/N-Verhältnis zu spezifizieren
	Gesamtkohlenstoffgehalt
	Carbonatgehalt
	Gesamtstickstoffgehalt
	Dichte
	Grobbodenanteil
Bodenbiologie	Artenzahl Tiergruppe x*
	Individuenzahl Tiergruppe x*
	Biomasse Tiergruppe x*
	Mikrobielle Biomasse
	Mikrobielle Biomasse C ( $C_{mik}$ )
	Mikrobielle Biomasse N ( $N_{mik}$ )
	Mikrobielle Basalatmung
	Metabolischer Quotient
	$C_{mik}/C_{org}$ -Quotient
	N-Mineralisation
	Zelluloseabbau
	Arginin-Ammonifikation
	Phospholipidfettsäuren
	Aktivität Bodenenzym x**
	Molekularbiologische Parameter, z. B. DNA-Barcoding zu spezifizieren
	Biotoptyp
	Vegetation

Thema	Ziel- oder Begleitgröße
Bodenwasserhaushalt***	Bodenwassergehalt
	Bodenwasserspannung
	Sickerwassermenge
	Grundwasserstand
	Stoffkonzentration im Bodenwasser
	Stoffkonzentration im Grundwasser
Erosion***	Erosionsform
	Menge des Bodenabtrags
	Menge des Bodenauftrags
	Menge des Oberflächenabflusses

\* z. B. Collembola, Oribatida, Gamasina, Lumbricidae, Enchytraeidae, Nematoda

\*\* z. B. Arylsulfatase, Beta-Glucosidase, Katalase, Protease, Dehydrogenase, Cellulase

\*\*\* Angaben zu Standorten für Bodenwasserhaushalt und Erosion wurden bereits 2017/2018 zusammengestellt und sind nicht Gegenstand der aktuellen Datenzusammenstellung.

### Welche Angaben zu Verbund-Standorten werden benötigt?

Es werden beschreibende Angaben zu jedem Messstandort, wie z. B. Lage, Betreiber und Bodeneigenschaften sowie Angaben zu den gemessenen Größen, zur Methodik und zu Messhäufigkeiten benötigt. Die Messdaten selbst sind nicht anzugeben.

Um den Aufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten, werden methodische Details ausschließlich für die in Tabelle 1 genannten **Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds** angefragt. Darüber hinaus wird abgefragt, welche ergänzenden Parameter am Standort erhoben werden bzw. vorliegen, ohne dass für diese Parameter die jeweiligen Methoden und Erhebungszeitpunkte zu dokumentieren sind. Dabei handelt es sich um

- ▶ bodenphysikalische und bodenchemische Basis-Parameter (Tabelle 13) sowie
- ▶ Parameter zu Bewirtschaftung und Klima (Tabelle 14) und deren Erhebungsweise.

Einige dieser Parameter sind gleichzeitig Ziel- oder Begleitgrößen für die vier Themen des Messnetzverbunds (vgl. Tabelle 12).

**Tabelle 13: Bodenphysikalische und bodenchemische Basis-Parameter**

Hier werden Angaben dazu benötigt, welche Parameter erfasst werden. Keine methodischen Detailangaben zu einzelnen Parametern.

### Bodenphysikalische Parameter

Trockenrohdichte\*

Korngrößenverteilung

Porengrößenverteilung

Porenvolumen

Grobbodenanteil\*\*

Gefüge

Festsubstanzdichte

kf-Wert

Elektrische Leitfähigkeit

Trockenmasse

Bodenwassergehalt\*\*\*

Grundwasserstand

Wasserrückhaltevermögen\*\*\*\*

pF-WG-Kurve

\* auch: Lagerungsdichte

\*\* auch: Skelettgehalt

\*\*\* auch Feuchtegehalt, Bodenfeuchte

\*\*\*\* auch: FK, nFK, Level II: soil water retention characteristics (SWRC)

### Bodenchemische Parameter

Gesamtkohlenstoff-Gehalt

Organischer Kohlenstoff-Gehalt

Humusgehalt\*

Gesamtstickstoff-Gehalt

Organischer Stickstoff-Gehalt

Stickstoff-Deposition

C/N-Verhältnis

Gesamtphosphor-Gehalt

Phosphat-P-Gehalt

Boden-pH-Wert

Carbonatgehalt

**Bodenchemische Parameter**

Kationenaustauschkapazität\*\*

gelöste organische Substanz\*\*\*

Stoffkonzentration im Bodenwasser

Mikrobielle Biomasse\*\*\*\*

\* auch: Gehalt an organischer Bodensubstanz

\*\* auch: KAKpot, KAKeff, H-, S-, V-, T-Wert

\*\*\* auch: DOC

\*\*\*\* auch: C<sub>mik</sub>

**Tabelle 14: Bewirtschaftungs- und Klima-Parameter**

Hier werden Angaben dazu benötigt, welche Parameter erfasst werden. Keine methodischen Detailangaben zu einzelnen Parametern.

<b>Bewirtschaftungsparameter</b>	Bewirtschaftungsart*
	Vorfrucht
	Fruchtart (Hauptkultur) oder Hauptbaumart
	Zwischenfrucht
	Ertrag
	Bodenbearbeitung**
	Humusbilanz
	Düngung: Art des Düngers***, Ausbringungstechnik, Mengen, Häufigkeit, Ausbringungstag
	Kalkung: Art des Kalks****, Ausbringungstechnik, Mengen, Häufigkeit, Ausbringungstag
	Pflanzenschutz: Wirkstoff, Ausbringungstechnik, Mengen, Häufigkeit, Ausbringungstag
	Mahdhäufigkeit (Grünland)
	Viehbesatz (Grünland)
	<b>Klima-Parameter</b>
Lufttemperatur	
Bodentemperatur	
Luftfeuchtigkeit	
Windgeschwindigkeit	
Windrichtung	
Globalstrahlung	
Evapotranspiration	
potentielle Evapotranspiration	

	reale Evapotranspiration
	Klimatische Wasserbilanz
	Sonnenstunden
	Lichteinstrahlung
	Frosttage
	Niederschlagstage

\* z. B. konventionelle Anbauweise / ökologische Anbauweise; extensiv genutztes Grünland / intensiv genutztes Grünland; Sandmischkultur/Moor; Forst: Naturverjüngung / aus Saat / Pflanzung

\*\* z. B. mit oder ohne Pflug, Grubber, Mulchsaat, Direktsaat

\*\*\* z. B. Wirtschaftsdünger, Mineraldünger

\*\*\*\* z. B. Branntkalk, kohlsauer Kalk

### Erläuterungen und Bearbeitungshinweise zum Fragebogen

Jeder angefragten Institution werden Eingabetabellen im MS-Excel-Format für ihren Erheber-Geodatensatz zugesendet. Diese sind entweder blanko oder teilweise vorausgefüllt.

Es wird darum gebeten, für jeden gemeldeten Messstandort **alle leeren Felder** der Registerblätter „T\_STAMMDATEN“ und „T\_MESSGROESSEN“ auszufüllen.

Die dunkelblau hinterlegten Zeilen enthalten Beispiele für Stammdaten und Messgrößenangaben.

**Bitte verwenden Sie nach Möglichkeit Einträge der Nachschlagelisten** (je nach Feld mit einem oder mehreren Einträgen). Die Nachschlagelisten sind am Ende dieses Dokuments aufgeführt und sie sind in der Datei mit den Eingabetabellen enthalten. Sind darin keine geeigneten Einträge enthalten, verwenden Sie eigene Begrifflichkeiten.

Wenn Sie in einer vorausgefüllten Eingabetabelle vorhandene Einträge ändern, heben Sie die jeweilige Zelle bitte gelb hervor.

**Bitte nehmen Sie keine Veränderungen an der Struktur der Eingabetabellen vor (Abfolge der Spalten).**

Bitte beachten Sie, dass für die Eingabetabelle die Aktivierung von Makros nötig ist. Nur nach **Makro-Aktivierung** können Mehrfachangaben über die Dropdown-Auswahllisten eingetragen werden (z. B. in der Spalte „erfasste Basis-Parameter Bodenphysik“). **Freitexte werden ebenfalls akzeptiert.** Nach einer Mehrfachauswahl von Listenelementen können Korrekturen nur durch Löschen des gesamten Zellinhalts und nachfolgende Neueintragungen durchgeführt werden. Hier bietet sich ggf. das Editieren des Zellinhalts in einem Texteditor und anschließendes Einfügen in die jeweilige Zelle an.

**Tabelle 15: Übersicht des Fragebogens**

Register	Inhalt	Nachschlagelisten
<b>T_Stammdaten:</b> Angaben, die den Messstandort beschreiben	<b>Allgemeine Angaben:</b> Autor, Datum, Standort-ID, Kennung, Name, Lage, Betreiber, Jahr der Meldung, Einrichtungsjahr, Bemerkungen zum Betrieb	c_Land c_koordsysteme c_Programme
	<b>Standorteigenschaften</b> , u. a. Ausgangsgestein, Bodentyp u. a., Flächennutzung, potenzielle natürliche Vegetation*, Bewirtschaftungsart, Klima-Jahresmittel	c_Nutzung c_veg_ka5 c_Veg_detail c_Bewirtsch
	<b>Angaben für die Eignungsprüfung von Verbund-Standorten:</b> Vorschrift Bodenprofilansprache, Basis-Parameter, Bewirtschaftungs- und Klima-Parameter, Eignung für jedes Verbundthema, spezielle Angaben zu Verbundthemen	c_Parameter
<b>T_Messgroessen</b> Detailangaben zu den am Standort gemessenen Ziel- und Begleitgrößen des Verbunds <i>Werden mehrere Größen gemessen, sind mehrere Zeilen auszufüllen</i>	<b>Allgemeine Angaben:</b> Autor, Datum, Standort-ID, Kennung	-
	<b>Angaben für die Eignungsprüfung von Verbund-Standorten:</b> Messgröße, Dimension, Messhäufigkeit, Termine der Messungen, Messbeginn, Methode, In-situ, Geräte, Unsicherheiten, Bezugstiefen, Bemerkungen, Art der Proben, Probenvorbehandlung	c_Parameter c_Dimension c_Haeufigkeit c_Methode

\* Potenzielle natürliche Vegetation: z. B. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2010): Karte der Potentiellen Natürlichen Vegetation Deutschlands. Maßstab 1 : 500.000. Bonn-Bad Godesberg. Karten und Legende. Für einzelne Bundesländer sind GIS-Shapes verfügbar, wie z. B. für Bayern: [https://www.lfu.bayern.de/natur/potentielle\\_natuerliche\\_vegetation/download\\_pnv/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/natur/potentielle_natuerliche_vegetation/download_pnv/index.htm)

### Was ist schon ausgefüllt?

Seit Beginn der Arbeiten an der Konzeption des Messnetzverbunds wurden bereits Standorte für die Teilnahme am Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemeldet. Für diese liegen aus 2013 und 2017 Eintragungen aus so genannten „Eckdaten-Formularen“ vor. Für die von Betreibern für die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion als geeignet befundenen Standorte liegen darüber hinaus Detailangaben zu Messgrößen aus Abfragen im Jahr 2017 vor.

Weitere Eintragungen wurden auf Basis von Datenbeständen vorgenommen, die dem Umweltbundesamt aus dem Datenaustausch mit den BDF-betreibenden Institutionen in den Bundesländern vorliegen (INSPIRE-Berichterstattung, Umfrage von 2018 im F&E Vorhaben „Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft – Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes“, durchgeführt von Herrn Dr. Andreas Toschki, gaiac – Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung).

## **B Anhang: Bodenbiologie: Eignungsbewertung der Boden-Dauerbeobachtung**

### **Baden-Württemberg**

- ▶ Betreiber: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
- ▶ eine Fläche (Forst) in Bruchsal, auf der Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Intensiv-BDF
- ▶ Datenhaltung: Keine Angabe
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Collembola (Individuen, Arten), Lumbricidae (Individuen, Arten, Biomasse), seit 2007 halbjährliche Messungen im Frühjahr und Herbst
  - Bodenmikrobiologie: Mikrobielle Biomasse, seit 2007 halbjährliche Messungen im Frühjahr und Herbst
- ▶ regelmäßige und häufige Beprobung mehrerer Zielgrößen, daher Eignung für Intensivmonitoring/Forschung; Informationen zum Stichprobendesign und Probenhorizont fehlen
- ▶ fehlende Parameter: Hangneigung/Exposition, Vegetationsaufnahmen, Klima (Mittelwerte), Bodentemperatur, Biotoptyp

### **Bayern (LfL)**

- ▶ Betreiber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- ▶ 121 Flächen (Acker, Grünland, Sonstiges [Hopfen]), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Basis-BDF
- ▶ Datenhaltung: Access-Datenbank
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Lumbricidae (Individuen, Arten, Biomasse), alle acht Jahre im Frühjahr oder Herbst; Beginn der Messungen: 1985-2001; an zwei Grünland-Standorten finden jährliche Messungen statt
- ▶ durch die Messungen im Abstand von acht Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet, die beiden jährlich untersuchten Grünland-Standorte zudem für das Intensiv-Monitoring; es sollte abgeklärt und berücksichtigt werden, wann im Frühjahr oder im Herbst beprobt wird
- ▶ fehlende Parameter: Carbonatgehalt, C/N-Verhältnis, Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Biotoptyp

### **Bayern (LfU)**

- ▶ Betreiber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
- ▶ vier Flächen (Grünland, Forst), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden

- ▶ Basis-BDF
- ▶ Datenhaltung: Bayerisches Bodeninformationssystem (BIS)
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Lumbricidae (Individuen, Arten, Biomasse), seit 2010 alle drei Jahre zur gleichen Jahreszeit
- ▶ durch die Messungen im Abstand von drei Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet
- ▶ fehlende Parameter: Detaillierte Bewirtschaftung, Vegetationsaufnahmen, Lufttemperatur, Niederschlag, Bodentemperatur, Biotoptyp

### Hamburg

- ▶ Betreiber: Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
- ▶ drei Flächen (Grünland, Forst, Park), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Basis-BDF
- ▶ Datenhaltung: Keine Angabe
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Enchytraeidae (Individuen, Arten), Lumbricidae (Individuen, Arten, Biomasse), alle zehn Jahre, Beginn der Messungen: 1992, 1995, 1999
  - Bodenmikrobiologie:  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ , mikrobielle Biomasse (C, N), mikrobielle Basalatmung, metabolischer Quotient, Arginin-Ammonifikation, alle zehn Jahre, Beginn der Messungen: 2014, 2019, 2022
- ▶ durch die Messungen im Abstand von zehn Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet; die Messungen auf den drei Flächen wurden in unterschiedlichen Jahren begonnen und werden daher vermutlich in unterschiedlichen Jahren durchgeführt, was die Vergleichbarkeit der Standorte untereinander verringert
- ▶ fehlende Parameter: Ausgangsgestein, detaillierte Bewirtschaftung, Hangneigung, Exposition, Klima (Mittelwerte), Lufttemperatur, Niederschlag, Bodentemperatur, Bodenfeuchte

### Rheinland-Pfalz

- ▶ Betreiber: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF)
- ▶ eine Fläche (Forst) in Merzalben, auf der Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Intensiv-BDF (+ Level II)
- ▶ Datenhaltung: TI-Datenbank, Datenbank des Landes RP
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Collembola (Individuen), Enchytraeidae (Individuen), Lumbricidae (Individuen, Arten)

- Bodenmikrobiologie: Metabolischer Quotient,  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ , mikrobielle Biomasse (C, N), mikrobielle Basalatmung
- ▶ unregelmäßige Messungen seit 1993; bei Abständen unter 10 Jahren ggf. für das Extensiv-Monitoring geeignet
- ▶ fehlende Parameter: Biotoptyp

#### **Sachsen-Anhalt (Basis-BDF)**

- ▶ Betreiber: Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB), Landesamt für Umweltschutz (LAU), nicht alle Flächen: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU), Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
- ▶ 66 Flächen (Acker, Grünland, Forst, Sonstige), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Basis-BDF
- ▶ Datenhaltung: LAGB: MS Excel
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodenmikrobiologie: Metabolischer Quotient, mikrobielle Biomasse, mikrobielle Basalatmung, z. T.: Katalase-Aktivität, alle vier bis fünf Jahre im Frühjahr, Beginn der Messungen: 1993-2007
- ▶ durch die Messungen im Abstand von vier bis fünf Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet
- ▶ fehlende Parameter: Gesamtstickstoffgehalt, C/N-Verhältnis, Lufttemperatur, Niederschlag, Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Biotoptyp, z. T.: detaillierte Bewirtschaftung

#### **Sachsen-Anhalt (Intensiv-BDF)**

- ▶ Betreiber: LAGB, Umweltforschungszentrum (UFZ), LAU, NW-FVA (je nach Fläche unterschiedliche Betreiber)
- ▶ vier Flächen (Acker, Forst), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Intensiv-BDF (z. B. Level II)
- ▶ Datenhaltung: LAGB: MS Excel, TI-Datenbank
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodenmikrobiologie: Metabolischer Quotient, mikrobielle Biomasse, mikrobielle Basalatmung, z. T.: Katalase-Aktivität und  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ , alle vier bis fünf Jahre im Frühjahr, Beginn der Messungen: 2003-2013
- ▶ durch die Messungen im Abstand von vier bis fünf Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet
- ▶ fehlende Parameter: Biotoptyp, jeweils z. T.: Gesamtkohlenstoffgehalt, C/N-Verhältnis, Lufttemperatur, Niederschlag, Bodentemperatur, Bodenfeuchte

### Schleswig-Holstein

- ▶ Betreiber: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR)
- ▶ 37 Flächen (Acker, Grünland, Forst, Sonstige), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ 32 Basis-BDF, fünf Basis- und Intensiv-BDF
- ▶ Datenhaltung: Oracle-Datenbank, z. T. lokal
- ▶ gemessene Zielgrößen:
  - Bodentiere: Enchytraeidae (Individuen, Arten), Lumbricidae (Individuen, Arten, Biomasse), alle sechs Jahre im Herbst, Beginn der Messungen: 1992-2005
  - Bodenmikrobiologie: Metabolischer Quotient,  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ , mikrobielle Biomasse (C, N), mikrobielle Basalatmung, Arginin-Ammonifikation, Arylsulfatase-Aktivität, alle drei Jahre im Frühjahr, Beginn der Messungen: 1995-2007
- ▶ durch die Messungen im Abstand von drei bzw. sechs Jahren für das Extensiv-Monitoring geeignet
- ▶ fehlende Parameter: Vegetationsaufnahmen, z. T.: Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Biotoptyp

### Thüringen (Basis-BDF)

- ▶ Betreiber: TLUG (auf den vom TLLLR betriebenen Flächen werden aktuell keine bodenbiologischen Parameter erhoben)
- ▶ 12 Flächen (Acker, Forst), auf denen Zielgrößen der Bodenbiologie gemessen werden
- ▶ Basis-BDF (3 Flächen auch Level II)
- ▶ Datenhaltung: keine Angabe
- ▶ gemessene Zielgrößen: Bodenmikrobiologie: Metabolischer Quotient, mikrobielle Biomasse, mikrobielle Basalatmung; Messhäufigkeit „unregelmäßig“ (ohne Angabe zu Messbeginn und -terminen)
- ▶ aufgrund fehlender Detailangaben zu den Messgrößen (s.o.) ist eine Bewertung der Eignung für Extensiv- oder Intensivmonitoring nicht möglich; bei Abständen unter 10 Jahren evtl. für das Extensiv-Monitoring geeignet

fehlende Parameter: Biotoptyp, Vegetationsaufnahmen, z. T.: Klimaparameter, Trockenrohdichte, Bodentemperatur, Bodenfeuchte

## C Anhang: Organische Bodensubstanz: Boden-Dauerbeobachtung

Die nachfolgende Tabelle beinhaltet eine Auswertung der BDF in den Bundesländern nach Messgröße, Probenahmeschema, Messintervall und Messbeginn für die Zielparameter zur Beobachtung des Bodenkohlenstoffs (Grundlage: Angaben der Betreiber; Angaben in Klammern: Anzahl der gemeldeten BDF mit Zielgrößen für das Thema organische Bodensubstanz).

Bundesland	Messgröße	Probenahmeschema	Messintervall	Messbeginn organischer Gesamtkohlenstoff (SOC)
BB (36)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Forst: tiefenstufenbezogen bis 80 cm, Auflage Acker, Grünland: horizontbezogen, 0-20 cm	Forst: alle 10 bis 20 Jahre  Acker, Grünland: alle 2 bis 3 Jahre	1990er
BE (1)	Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Forst: tiefenstufenbezogen bis 80 cm, Auflage	Forst: alle 10 bis 20 Jahre	1995
BW (40)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Forst: horizontbezogen	Forst: alle 10 Jahre	Forst: 1989 (38), 1995 (2)
BY (151)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Vorrat des organischen Kohlenstoffs (17)	Forst: Standorte 1980er: horizontbezogen, Standorte ab 1990er: tiefenstufenbezogen bis 80 cm Acker: tiefenstufenbezogen, bis 50 cm, Unterboden Grünland: tiefenstufenbezogen, bis 30 cm, Unterboden Moor: horizontbezogen Sonstige: tiefenstufenbezogen, bis 50 cm, Unterboden	Forst: Standorte 1980er: ab 2010 alle 3 Jahre Standorte 1990er: alle 10 bis 20 Jahre Acker: alle 5 Jahre  Grünland: alle 5 Jahre  Moor: ab 2010 alle 3 Jahre Sonstige: alle 5 Jahre	Forst (18): Mitte der 1980er (5), Mitte der 1990er (12), 2009 (1)  Acker (91): Mitte der 1980er (88), Ende 1990er (3)  Grünland (33): Mitte der 1980 (30), Jahrtausendwende (2), 2013 (1) Moor (2): Mitte der 1980er Sonstige (7): Mitte der 1980er
HE (68)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Vorrat des organischen Kohlenstoffs (2 Forst)	Forst: horizontbezogen 0-30 cm, 2 Standorte tiefenbezogen bis 80 cm Acker, Grünland, Sonstige: horizontbezogen 0-30 cm	Forst: alle 10 Jahre Acker: alle 10 Jahre Grünland: alle 10 Jahre, alle 5 Jahre (4)	Forst (19): Mitte der 1980er Jahre (2), Anfang der 1990er Jahre (2), 1999 (14), 2009 (1) Acker (23): 1999 Grünland (16): 1999 Sonstige (4): 1999

Bundesland	Messgröße	Probenahmeschema	Messintervall	Messbeginn organischer Gesamtkohlenstoff (SOC)
			Sonstige: alle 10 Jahre (2), alle 5 Jahre (2)	
HH (3)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	horizontbezogen (fünf bis sechs Horizonte)	alle 10 Jahre	Forst (1): 2004 Grünland (1): 2018 Sonstige (1): 2002
MV (2) auch Level II	Gehalt des organischen Kohlenstoffs	tiefenstufenbezogen bis 80 cm	alle 10 bis 20 Jahre	Forst (2): 1996
NI (88)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Vorrat des organischen Kohlenstoffs (19 Forst)	Forst: tiefenstufenbezogen bis 80 cm Acker: tiefenstufenbezogen 0-20 cm Grünland, Sonstige: tiefenstufenbezogen 0-10 cm	Forst: alle 10 Jahre Acker, Grünland, Sonstige: alle 4 Jahre	Forst (19): 1960er (2), 1970er (2), 1980er (8), 1990er (7) Acker (48): 1990er (47), 2002 (1) Grünland (19): 1990er Sonstige (2): 1990er
NW (5)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	tiefenstufenbezogen bis min. 90 cm	alle 10 Jahre	Forst (5): 1990er
RP (16)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Vorrat des organischen Kohlenstoffs (16)	tiefenstufenbezogen bis 200 cm	alle 10 Jahre	Forst (16): Anfang 1990er
SH (37)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Trockenroh-dichte, Grobbodenanteil	Forst: Auflage und erster Mineralbodenhorizont Acker: tiefenstufenbezogen 0-30 cm Grünland: tiefenstufenbezogen 0-10 cm Sonstige: tiefenstufenbezogen bis max. 30 cm	Forst: seit 2003 alle 3 Jahre Acker: seit ca. 2015 alle 3 Jahre Grünland: seit ca. 2014 alle 3 Jahre Sonstige: seit 2013 alle 3 Jahre	Forst (5): Mitte der 1990er (4), 2007 (1) Acker (18): Mitte der 199er (17), 2001 (1) Grünland (10): Mitte der 1990er (8), Anfang 2000er (2) Sonstige (4): Mitte 1990er (3), 2002 (1)

Bundesland	Messgröße	Probenahmeschema	Messintervall	Messbeginn organischer Gesamtkohlenstoff (SOC)
SL (10)	Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Forst, Acker: horizontbezogen bis 35 cm Grünland: tiefenstufenbezogen bis 30 cm	alle 20 Jahre	Forst (4): 1993 Acker (5): Anfang 1990er Grünland (1): 1995
SN (57)	Gehalt des organischen Kohlenstoffs	nicht gemeldet	alle 5 Jahre	Acker (48): 1990er (24), 2000er (21), 2010er (3) Grünland (8): 1990er (1), 2000er (5), 2010er (2) Sonstige (1): 2005
ST (70)	Gehalt des organischen Kohlenstoffs, Vorrat des organischen Kohlenstoffs (70)	Forst: horizontorientiert, tiefenstufenorientiert (teilw. im Wechsel), bis max. 100 cm Acker, Grünland, Sonstige: horizontorientiert, tiefenstufenorientiert (teilw. im Wechsel), bis max. 60 cm	alle 10 Jahre, unregelmäßig (15, alle Nutzungen)	Forst (24): 1990er (14), 2000 bis 2006 (10)  Acker (32): 1990er (16), 2000 bis 2006 (16) Grünland (11): 1990er (11), 2000 bis 2004 (6) Sonstige (3): 1990er (2), 2001 (1)
TH (32)	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Forst: horizontorientiert, tiefenstufenorientiert (3) bis max. 80 cm, Tiefen nicht gemeldet (6) Acker: tiefenstufenorientiert (10) bis 90 cm, horizontorientiert (3) Grünland: tiefenstufenorientiert bis 60 cm (teilw. 90 cm) (4)	Forst: alle 5 bis 10 Jahre, alle 10 bis 20 Jahre (3)  Acker: alle 5 Jahre (10)  Grünland: alle 5 Jahre (4)	Forst (9): 2009 (1), 2016 (2), nicht gemeldet (6) Acker (13): 2002 (6), 2003 (4), nicht gemeldet (3) Grünland (10): 2002 (2), 2004 (2), nicht gemeldet (6)

## D Anhang: Organische Bodensubstanz: Dauerfeldversuche

Die nachfolgende Tabelle führt die für die Beobachtung des Bodenkohlenstoffs in einem Verbundmessnetz gemeldeten Dauerfeldversuche mit Angabe des Beginns der Messung von Gesamtkohlenstoff, organischem Kohlenstoff und Vorrat des organischen Kohlenstoffs sowie der Messmethoden auf (Angaben wie von Betreibern gemeldet).

Standort-Name	Standort-Kennung	Messgröße	Methode	Messbeginn
Berlin-Dahlem	BDa_D3b	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5, Berechnung TOC = TC-IC	2013
Berlin-Dahlem	BDa_E-Feld	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5, Berechnung TOC = TC-IC	2013
Berlin-Dahlem	BDa_IOSDV	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5, Berechnung TOC = TC-IC	2013
Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt V120	DFV_V120_Bad-Lauchstaedt	Gesamtkohlenstoffgehalt	Elementaranalyse DIN ISO 10694 (1996)	1976
Erweiterter Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt V120a	DFV_V120a_Bad-Lauchstaedt	Gesamtkohlenstoffgehalt	Elementaranalyse DIN ISO 10694 (1996)	1978
Stallmiststeigerungsversuch Bad Lauchstädt V494	DFV_V494_Bad-Lauchstaedt	Gesamtkohlenstoffgehalt	Elementaranalyse DIN ISO 10694 (1996)	1983
Bracheversuch Bad Lauchstädt V505a	DFV_V505a_Bad-Lauchstaedt	Gesamtkohlenstoffgehalt	Elementaranalyse DIN ISO 10694 (1996)	1988
Humusversuch Speyer	Humusversuch Speyer	Gehalt des organischen Kohlenstoffs	DIN ISO 10694: Elementaranalyse	1976

Standort-Name	Standort-Kennung	Messgröße	Methode	Messbeginn
Internationaler organischer Stickstoff Düngungs-Versuch (IOSDV)	IOSDV Speyer	Organischer Kohlenstoffgehalt, seit 2011: Vorrat des organischen Kohlenstoffs	DIN ISO 10694: Elementaranalyse	1984
Bad Salzigungen L28	TH-0034	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Elementaranalyse DIN ISO 10694, Berechnung TOC = TC-IC	1966
Thyrow	Thy_ABS	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5; Berechnung TOC = TC-IC	2006
Thyrow	Thy_D1	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	bis 2007 nasschemisch in $K_2Cr_2O_7$ und konz. $H_2SO_4$ nach Schnieder (Springler & Klee, modifiziert); ab 2008 Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5; Berechnung TOC = TC-IC	1969
Thyrow	Thy_D41	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	bis 2007 nasschemisch in $K_2Cr_2O_7$ und konz. $H_2SO_4$ nach Schnieder (Springler & Klee, modifiziert); ab 2008 Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5	1965
Thyrow	Thy_D42	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	bis 2007 nasschemisch in $K_2Cr_2O_7$ und konz. $H_2SO_4$ nach Schnieder (Springler & Klee, modifiziert); ab 2008 Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5	1998
Thyrow	Thy_D5	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	bis 2007 nasschemisch in $K_2Cr_2O_7$ und konz. $H_2SO_4$ nach Schnieder (Springler & Klee, modifiziert); ab 2008 Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5	1976
Thyrow	Thy_D6	Gesamtkohlenstoffgehalt, Gehalt des organischen Kohlenstoffs	bis 2007 naßchemisch in $K_2Cr_2O_7$ und konz. $H_2SO_4$ nach Schnieder (Springler & Klee, modifiziert); ab 2008 Elementaranalyse DIN ISO 10694 bzw. VDLUFA, MB 1, A 2.2.5	1970

## E Anhang: Gestaltung des Verzeichnisses der Verbundstandorte

Vorschläge zur **Gestaltung und Anpassung** des Verzeichnisses der Verbundstandorte:

- ▶ Definition der obligatorisch zu füllenden Felder anhand gemeinsam festgelegter Qualitätskriterien für die Stammdaten sowie für die Angaben zu Messgrößen und Methoden
- ▶ Kennzeichnung von Verbund- und Kernstandorten (liegt für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz vor und ist für Bodenwasserhaushalt und Bodenerosion zu aktualisieren)
- ▶ Kennzeichnung von Standorten, die Messgrößen für mehrere Themen gemeldet haben und von Standorten, die mehreren Programmen angehören,
- ▶ eindeutige Zuordnung der Messgrößen-Angaben zu Programmen
- ▶ Prüfung des Zusammenschlusses von Standorten mehrerer Institutionen auf derselben Fläche über Angaben zu Stammdaten in Abstimmung mit Betreibern inkl. Festlegung der Zuständigkeit

Konkreter **Aufbereitungsbedarf** der bisher projektbezogen geführten Datenbank zur Vorbereitung eines produktiven Verzeichnisses der Verbundstandorte:

- ▶ Vereinheitlichung und Vervollständigung von Eintragungen in den Stammdaten wie Ausgangsgestein, Bodentyp, Bodenart, etc. bzw. Vorgaben für Angaben (Kürzel, Text, zulässige Zeichen)
- ▶ Ergänzung Feld *Programm* in Messgrößen-Tabelle zur eindeutigen Zuordnung von Messgrößen an einem Standort, die in mehreren Programmen erhoben werden (z. B. BDF und ICP Forests Level II); Feld *Eignung für Verbundthema* mit Kategorien „keine“, „Verbundstandort“ und „Kernstandort“; Feld *Messdauer in Jahren*.
- ▶ Automatisierte Qualitätsprüfung von Angaben zu Stammdaten und Messgrößen (allgemein, themenspezifisch) und Befüllung des Feldes *Eignung für Verbundthema*
- ▶ Prüfung des Nutzens des Feldes *Eignungsbewertung des Betreibers für Themen* im Hinblick auf oftmals fehlende Einschätzung, evtl. Abdeckung der Information durch datenbankinterne Qualitätsprüfung bzw. Übersicht der Eignung
- ▶ Konkretisierung der Angaben zu Bewirtschaftungsdaten, z. B. Ergänzung der Einträge „nicht bekannt“ oder „auf Anfrage erhältlich“
- ▶ Anfrage und ggf. Aufnahme weiterer gemeldeter Standorte, die zum aktuellen Zeitpunkt keine Messgrößen gemeldet haben (z. B. BDF Bayern, einzelne Standorte BioMessnetz LUBW) oder deren Meldung zu einem Zeitpunkt erfolgte, zu dem eine Aufnahme nicht mehr möglich war (Humusmonitoring Bayern).

Es wird empfohlen, dass das Nicht-Vorliegen von Angaben in allen Feldern klar dokumentiert wird, um Unsicherheiten bei der Bewertung der Dateneignung zu reduzieren (z. B. mit dem Eintrag „nicht bekannt“).

## **F Anhang: Ergänzende Messnetzbeschreibungen für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz**

Als Grundlage für die Bewertungen im Forschungsvorhaben sind Beschreibungen von langfristig betriebenen Messprogrammen und Messaktivitäten aus der Broschüre „Bodendaten in Deutschland“ (UBA 2020a) aktualisiert worden. Zudem liegen in Anhang F neue Steckbriefe und Kurzbeschreibungen für weitere Bodendaten mit Bezug zu den Schwerpunktthemen Bodenbiologie und organische Bodensubstanz vor. Die Steckbriefe und Kurzbeschreibungen entsprechen in ihrem Aufbau und den inhaltlichen Datenfeldern der Broschüre „Bodendaten in Deutschland“ und aktualisieren und ergänzen diese.

Die Methoden zur Erstellung der Steckbriefe und Kurzbeschreibungen sind in Kapitel 4.1 des Abschlussberichts beschrieben. Für eine Übersicht der aktualisierten und neu beschriebenen Messaktivitäten und die Zusammenfassung der Ergebnisse der Messnetzuntersuchung wird auf Kapitel 4.2 des Abschlussberichts verwiesen.

Die Messnetzbeschreibungen sind von den jeweils genannten fachverantwortlichen Personen erstellt oder mit diesen abgestimmt worden.

## F.1 Steckbrief Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE LW)

### 1 Kurzbeschreibung

Mit der BZE LW wurde erstmals eine deutschlandweite, konsistente und repräsentative Inventur der Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden (Acker-, Grünland-, Sonderkulturflächen) bis 100 cm Tiefe durchgeführt. Sie stellt eine Verbesserung und Weiterentwicklung der Datengrundlage für die Treibhausgas-Emissionsberichterstattung gemäß UN-Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll bzw. Pariser Abkommen dar. Im Rahmen der BZE LW wurden deutschlandweit 3.104 Standorte beprobt. Eine Verknüpfung mit anderen Messnetzen wird angestrebt. Die BZE LW bildet die Ausgangsbasis für die regional differenzierte Analyse von Zu- und Abnahmen des Boden- $C_{org}$ -Vorrats in Deutschland sowie die beeinflussenden Faktoren. Für spezifische Fragen zur Wirkung der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf den  $C_{org}$ -Vorrat im Boden wurden parallel zur ersten BZE LW Untersuchungen an gezielt ausgewählten Dauer- und Exaktversuchen sowie an Praxisflächen durchgeführt.

### 2 Zweck

- ▶ repräsentative und systematische Erfassung des Kohlenstoffgehalts und -vorrats landwirtschaftlich genutzter Böden (Acker inkl. Grünlandwechselwirtschaft, Dauergrünland und Sonderkulturen) in Deutschland
- ▶ systematische, deutschlandweite Erfassung und Bewertung von Bodenkenngrößen, die den Kohlenstoffvorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden beeinflussen und Untersuchung der Abhängigkeit des organischen Kohlenstoffgehalts von Klima, Nutzung, Management und Bodeneigenschaften
- ▶ deutschlandweite Erfassung und Bewertung möglicher Veränderungen des  $C_{org}$ -Vorrats in landwirtschaftlich genutzten mineralischen Böden mittels Modelle
- ▶ Etablierung einer Basis für ein regelmäßiges Bodenzustandsmonitoring für landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland
- ▶ Schaffung einer soliden Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung unter UN-Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Emissionsberichterstattung
- ▶ Politikberatung

### 4 Anwender der Ergebnisse

- ▶ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
- ▶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
- ▶ Landwirtschafts- und Umweltbehörden des Bundes und der Länder

## **5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen**

Für die Bundesrepublik Deutschland repräsentativ, aber nicht für kleinere geographische Einheiten.

Die Rasterbeprobung der BZE ist nur eingeschränkt dazu geeignet, spezifische Fragestellungen zum Einfluss der Bodenbewirtschaftung und Landnutzung auf den  $C_{org}$ -Vorrat im Boden zu beantworten, da Bewirtschaftungs- und Nutzungseffekte nicht eindeutig von Standorteffekten zu trennen sind (Durchführung paralleler Begleituntersuchungen für diese Fragestellung).

Für 2.631 von 3.104 Beprobungspunkten liegt der vollständige Datensatz (Standortaufnahme, Laboranalysen, Fragebogen zur Flächenbewirtschaftung) vor (Stand: Mai 2018).

Die erhobenen Daten können an Kooperationspartner mit berechtigtem Interesse weitergegeben werden. Ein berechtigtes Interesse liegt z. B. dann vor, wenn die Standortinformationen unter Einbeziehung der bodenkundlichen Profilansprache zur Unterstützung bodenkundlicher Landesaufnahmen in den Bundesländern genutzt werden. Eine Kooperationsvereinbarung und die datenschutzrechtliche Unbedenklichkeit sind Voraussetzungen für die Weitergabe von Daten.

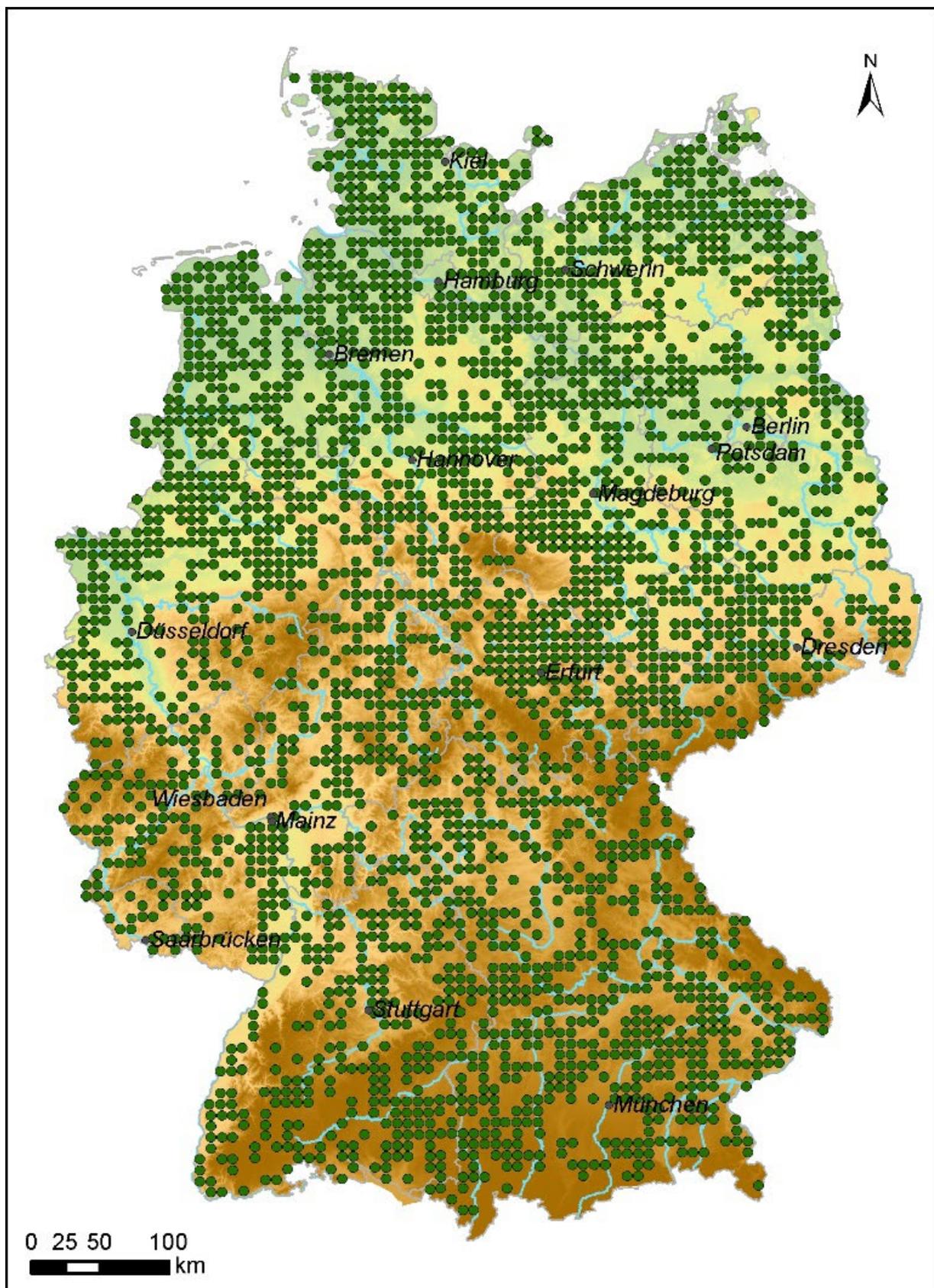
Bodenprobenmaterial kann nach Abschluss der projektbezogenen Analytik an Kooperationspartner weitergegeben werden. Die Weitergabe findet ausschließlich als nicht georeferenzierte, tiefenstufenbezogene Probe statt. Die Datensammlung zur Betriebsstruktur und Bewirtschaftung wird nicht weitergegeben.

## **6 Räumliche Ausdehnung**

Bundesrepublik Deutschland

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

Abbildung 17: Stichprobenpunkte der BZE LW



Stand 2012; Lagekoordinaten auf 1 km gerundet

**Abbildung 18: Repräsentative Standorte der BZE-LW für zusätzliche Messungen in mineralischen Böden**



Quelle: Jacobs et al. (2018):26

### **8 Zeitbezug**

2008 bis 2018

### **9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte**

0,01/km<sup>2</sup> (1/64 km<sup>2</sup>)

### **10 Verteilung der Untersuchungsstandorte**

8 x 8 km-Raster

Die Rasterweite (8 x 8 m) entspricht der BZE in Wäldern (BZE-Wald I und II).

Der Ausgangspunkt (Beprobungspunkt Nr. 1) dieses Rasters ist deckungsgleich mit einem Beprobungspunkt aus der europäischen LUCAS-Erhebung (Land use/cover area frame statistical survey)-Erhebung (Europäische Kommission 2018).

**Tabelle 16: Anzahl der Stichprobenpunkte je Bundesland**

Bundesland	Anzahl Beprobungspunkte
Baden-Württemberg	269
Bayern	559
Berlin	4
Brandenburg	227
Bremen	2
Hamburg	4
Hessen	161
Mecklenburg-Vorpommern	233
Niedersachsen	491
Nordrhein-Westfalen	286
Rheinland-Pfalz	150
Saarland	18
Sachsen	161
Sachsen-Anhalt	208
Schleswig-Holstein	177
Thüringen	154
<b>Summe</b>	<b>3104</b>

### 11 Parameter

- ▶ TOC, TIC
- ▶ Gesamtstickstoff (TN)
- ▶ Trockenrohddichte
- ▶ Bodenart
- ▶ Wurzelmasse
- ▶ Skelettgehalt
- ▶ pH (H<sub>2</sub>O; 0,01 M CaCl<sub>2</sub>)
- ▶ elektr. Leitfähigkeit (H<sub>2</sub>O)
- ▶ NIR-Spektren
- ▶ Datensammlung zur Betriebsstruktur und Bewirtschaftung der letzten 10 Jahre
  - Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung, Ausbringung von mineralischem und Wirtschaftsdünger, Ertrag, Zwischen- und Nebenfrüchte, Kalkung, Saatmethode u. a.

► bodenkundliche Standortkartierung

- standortbezogene Daten:
  - Relief, Witterung bei Beprobung, anthropogene Veränderungen, Bodentyp (Subtyp, Varietät), Grundwasserstand bei Probenahme, Grundwasserstufe
  - Nutzungsart, aktuelle Vegetation, Bewirtschaftungszustand, Deckungsgrad der Streu
  - nur für Moorböden: Moormächtigkeit (gesamter Moorkörper bis zum Mineralboden inklusive mineralischer Deck- und Zwischenschichten sowie Mudden), Torfmächtigkeit
- horizontbezogene Daten:
  - Horizontgrenzen, -bezeichnung, pedogene Merkmale, Ausgangsmaterial, Vorhandensein von Substratinhomogenität, Stratigraphie
  - Bodenart, Gefügeform, Vorkommen von Hohlräumen (Risse, Röhren), Lagerungsdichte, Grobbodenanteil, Bodenfarbe, Humusgehalt, Carbonatgehalt, Vorkommen von oxidativen/reduktiven Hydromorphie-Merkmalen, Feuchtestufe, Zersetzungsstufe (Moorböden), Durchwurzelungsintensität

**12 Untersuchungsmedium(en)**

Boden-Feststoff

**13 Probenahmemethode(n)**

- Profilgrube (1 m Tiefe) am Beprobungspunkt und 8 Rammkernsondierungen im Radius von 10 m
- ungestörte (Trockenrohddichte) und gestörte (Bodenchemie) Probenahme nach Horizonten und Tiefenstufen im Bodenprofil und ungestörte Probenahme nach Tiefenstufen in den Rammkernsonden
- Standortkartierung: nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5)

**14 Entnahmetiefe(n)**

tiefenstufenbezogen:

- 0 bis 10 cm
- 10 bis 30 cm
- 30 bis 50 cm
- 50 bis 70 cm
- 70 bis 100 cm

auf Sonderstandorten (z. B. Moore) 100 bis 150 cm und 150 bis 200 cm zusätzlich horizontbezogen

## 15 Untersuchungsmethode(n)

- ▶ Probenvorbereitung: DIN ISO 19 720; Proben mit hohem Ton- und Carbonatgehalt: DIN ISO 16720:2005
- ▶ Gesamtkohlenstoff: DIN ISO 10 694:1995
- ▶ TOC: DIN ISO 10694:1995
- ▶ TIC: DIN 19539 modifiziert
- ▶ Gesamtstickstoff: DIN EN 16168:2012
- ▶ Trockenrohddichte: HFA A2.8, verändert
- ▶ Bodenart: DIN ISO 11 277
- ▶ Grob-/Feinbodenfraktion, Wurzelmasse: HFA A2.8 (überarbeitet)
- ▶ pH (H<sub>2</sub>O; 0,01 M CaCl<sub>2</sub>): DIN ISO 10390, verändert
- ▶ elektr. Leitfähigkeit (H<sub>2</sub>O): DIN EN 27 888
- ▶ NIR-Spektren: FT-NIR (MPA, Bruker), u. a. für Fraktionen des C<sub>org</sub>
- ▶ weitere Sonderuntersuchungen auf ausgewählten Standorten (s. Karte 2):
  - oxalatlösliches Al, Fe: DIN 19684-6, verändert;
  - oxalatlösliches Mn: DIN 19684-6, verändert;
  - Dichtefractionen der organischen Bodensubstanz: drei Fraktionen nach Golchin et al. (1994) fPOM, oPOM und MOM;
  - Gehalt organischer Kohlenstoff in Dichtefractionen TRUMAC, LECO, Saint Joseph, Isotopenhäufigkeitsmassenspektrometer
- ▶ eingesetzte Bodenkohlenstoffmodelle:
  - C-Tool: einfaches dänisches Bodenkohlenstoffmodell (Taghizadeh-Toosi et al. 2014 und 2016)
  - CCB: deutsches Bodenkohlenstoffmodell (Franko et al. 2011)
  - ICBM: einfaches schwedisches Bodenkohlenstoffmodell (Andren & Kätterer 1997)
  - Yasso07: finnisches Bodenkohlenstoffmodell, ursprünglich für Waldböden entwickelt (Tuomi et al. 2009 und 2011)
  - RothC: britisches Bodenkohlenstoffmodell für landwirtschaftliche Böden (Coleman & Jenkinson 1995)
  - Century: US-amerikanisches Bodenkohlenstoffmodell als Teil eines Ökosystemmodells (Parton et al. 1994)

## 16 Untersuchungshäufigkeit

einmalige Stichprobenerhebung; Wiederholungsbeprobung geplant

## 17 Verantwortliche Institutionen

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (Projektleitung, Eigentümer, Ansprechpartner und Nutzer)

## 18 Arbeitsgruppen/Gremien

Zusammenarbeit mit dem Biodiversitätsmonitoring des Thünen-Instituts für Biodiversität in Planung

## 19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog

k.A.

## 20 Wichtige Quellen und Publikationen

- ▶ <https://www.thuenen.de/de/thema/boden/boden-monitoring-stethoskop-am-boden/boden-der-unterschaetzte-kohlenstoffspeicher/>
- ▶ Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64, <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>, [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn060497.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn060497.pdf)
- ▶ Flessa, H, Don, D, Jacobs A, Dechow R, Tiemeyer b, Poeplau C (2019): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands – Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.)
- ▶ Ergebnisse und Publikationen zur BZE LW finden sich auf den Webseiten des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz unter
  - <https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/bodenzustandserhebung-landwirtschaft-bze-lw/ergebnisse-und-publikationen/>  
sowie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter
  - [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/Texte/Boden.html;jsessionid=5E0DEF1A4B09E405DBDDCEB55E0E771D.1\\_cid296?nn=5798726&not-First=true&docId=8719618](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/Texte/Boden.html;jsessionid=5E0DEF1A4B09E405DBDDCEB55E0E771D.1_cid296?nn=5798726&not-First=true&docId=8719618)

## 21 Fachverantwortliche(r)

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz  
Dr. Christopher Poeplau  
E-Mail: [christopher.poeplau@thuenen.de](mailto:christopher.poeplau@thuenen.de)  
Tel.: +49 (531) 596 2679

## 22 Datum der Erstellung des Steckbriefs

aktuelle Version: 13.11.2019

## 23 Datenzugang

Ein Großteil der erhobenen Daten (Kerndatensatz) ist online frei verfügbar unter: [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00054877](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00054877).

In der Web-Anwendung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft werden alle 3.104 beprobten Bodenprofile inklusive der Horizontbezeichnungen in Zusammenhang mit einigen ausgewählten Bodenparametern dargestellt: [https://thuenen-institut.maps.arcgis.com/apps/AttachmentViewer/index.html?appid=2de0e7ff798140a2aa1860f8b64efcbe&center=11.1596%2C52.0208&level=5&attachmentIndex=0&selectedLayerId=Bodenzustandserhebung\\_Landwirtschaft\\_Auszug\\_7132](https://thuenen-institut.maps.arcgis.com/apps/AttachmentViewer/index.html?appid=2de0e7ff798140a2aa1860f8b64efcbe&center=11.1596%2C52.0208&level=5&attachmentIndex=0&selectedLayerId=Bodenzustandserhebung_Landwirtschaft_Auszug_7132).

Bodenprobenmaterial kann nach Abschluss der projektbezogenen Analytik an Kooperationspartner weitergegeben werden

Die Datensammlung zur **Betriebsstruktur und Bewirtschaftung kann nicht weitergegeben werden.**

## F.2 Steckbrief Bodenzustandserhebung Wald

### 1 Kurzbeschreibung

Die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE Wald) ist Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings. Die BZE I erhob zwischen 1987 und 1992 an ca. 1.900 Stichprobenpunkten den Zustand von Waldböden. Die Folgeinventur (BZE II) fand in den Jahren 2006 bis 2008 statt. Die nächsten Außenaufnahmen (BZE Wald III) werden in den Jahren 2022 bis 2024 erfolgen. Neben dem Bodenzustand werden die Ernährungssituation der Bäume, der Kronenzustand, die Bodenvegetation und der Bestand untersucht. Verknüpfungen bestehen mit ICP Forests Level I und der Waldzustandserhebung (WZE).

### 2 Zweck

- ▶ Bereitstellung von zuverlässigen, flächenrepräsentativen und bundesweit vergleichbaren Informationen zum Zustand der Waldböden
- ▶ Gewinnung von Informationen über die in Waldböden ablaufenden Veränderungen durch periodische Wiederholung der Erhebung

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Ermittlung zentraler Eigenschaften und Unterschiede von Waldböden, v. a. mit Blick auf Waldernährung, Waldwachstum, Kronenzustand, Wasserqualität und -quantität
- ▶ Beschreibung von Veränderungen der Bodeneigenschaften zwischen den Inventuren
- ▶ Maßnahmenplanung und Untersuchung der Wirksamkeit bereits durchgeführter Maßnahmen zum Schutz der Waldböden (z. B. Bodenschutzkalkung)
- ▶ wald- und umweltpolitische Fragestellungen (Funktion der Waldböden im Naturhaushalt, Funktionen als Standorte der forstlichen Holzproduktion, nachhaltige Nutzung von Wäldern)
- ▶ Berichterstattung im Rahmen des „Internationalen Kooperationsprogramms zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigung auf Wälder (EU/ICP Forests)“ (hier: Bericht zum Waldbodenzustand)
- ▶ Untersuchung der Kohlenstoffspeicherung und Änderungen des Kohlenstoffvorrats, Erstellung von Treibhaus-Inventaren und Berichterstattung (Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll)
- ▶ Veränderung der Biodiversität durch Klimawandel und Umwelteinflüsse
- ▶ Ermittlung des Stickstoffstatus und der Sensitivität gegenüber weiteren Stickstoffeinträgen
- ▶ Ermittlung der Hintergrundbelastung mit Schwermetallen und organischen Spurenstoffen (Bundes-Bodenschutzgesetz 1998)
- ▶ regional differenzierte Beurteilung der Rolle des Bodens in Zusammenhang mit Immissionsbelastungen der Waldökosysteme
- ▶ NEC Richtlinie (Beurteilung des Risikos durch N-Einträge)

- ▶ Ermittlung der Folgen des Waldsterbens
- ▶ Prüfung einer flächendeckenden Nährstoffverarmung und Versauerung der Waldböden durch Eintrag von Säurebildnern aus Luftverunreinigungen
- ▶ Einschätzung von Gefahren für den Waldbestand und von Risiken für die Qualität von Grund- und Oberflächenwasser
- ▶ Überprüfung der anhand von Fallstudien entwickelten bodenkundlichen Hypothesen der Waldschadensforschung
- ▶ Klimamodellevaluierung

Die in den Ländern erhobenen Daten werden durch dieselbe Methodenbasis bezüglich der Geländeaufnahmen, Probenvorbehandlung und Analyse vergleichbar. Aufgrund des einheitlichen Datenmanagements und einer Bundesdatenbank kann ein effizienter Datenaustausch der Institutionen untereinander erfolgen. Durch die Kopplung an weitere Inventuren unterschiedlicher Maßstabsebenen findet eine breite Integration in die Forschung statt.

#### **4 Anwender der Ergebnisse**

- ▶ Umwelt- und Forstbehörden des Bundes und der Länder
- ▶ Waldbesitzer und Forstbetriebe
- ▶ universitäre und sonstige Forschungseinrichtungen

#### **5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen**

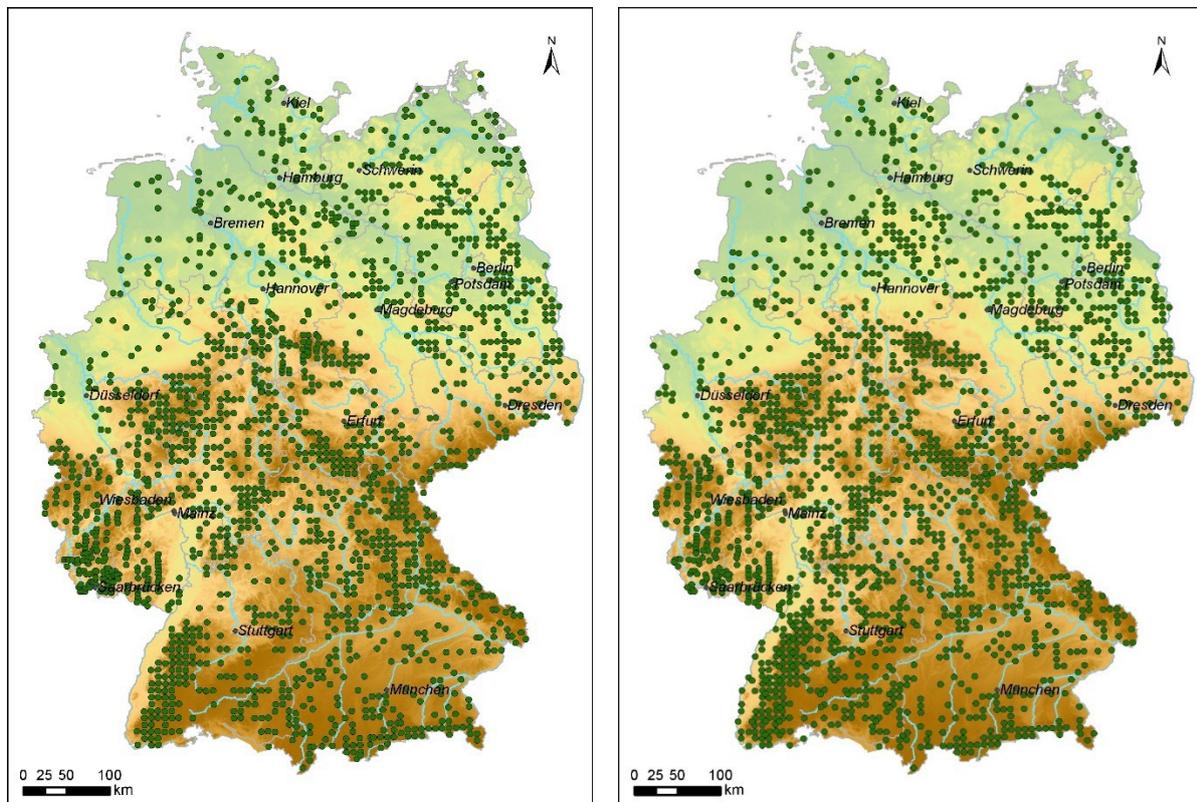
- ▶ kontinuierliche Wiederholung der Erhebung (kein Monitoring) alle 15 Jahre (angedacht): nächste Wiederholung (BZE Wald III) für den Zeitraum 2022-2024 geplant
- ▶ keine Zugriffsbeschränkungen und keine Einschränkungen bzgl. der Nutzungsbedingungen mit Ausnahme der Koordinaten
- ▶ Grunddaten: Zuständigkeit bei den Ländern
- ▶ aggregierter Datensatz: Zuständigkeit bei Thünen Institut für Waldökosysteme
- ▶ Datenabgabe im Rahmen von Nutzungsverträgen

#### **6 Räumliche Ausdehnung**

Bundesrepublik Deutschland

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

Abbildung 19: Lage der Stichprobenpunkte der BZE Wald I (links) und BZE Wald II (rechts) (Stand 2012)



### 8 Zeitbezug

1987 bis 2024

### 9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

1/64 km<sup>2</sup>

### 10 Verteilung der Untersuchungsstandorte

8 x 8 km-Raster (Wald bzw. auf der sog. Holzbodenfläche)

Die Rasterweite entspricht der BZE auf landwirtschaftlichen Flächen.

Im Rahmen der BZE Wald II gab es regionale und thematische Verdichtungen des Basisnetzes in einigen Ländern, z. B. 4 x 4 km (z. B. Sachsen) oder 4 x 2 km (Saarland).

Die BZE Wald wurde an das 16 x 16 km-Raster der europaweiten Waldzustandserhebung (WZE) geknüpft, sodass Auswertungen auf europäischer Ebene möglich sind.

### 11 Parameter

Die durch Bund und Länder zu erfassenden Merkmale sind gemeinsam in der Arbeitsanleitung zur BZE Wald II festgelegt. Es erfolgt die Profilbeschreibung (nach KA5 bzw. modifiziert in Anlehnung an die Arbeitsanleitung der BZE I oder II) sowie die Untersuchung bodenchemischer und bodenphysikalischer Parameter getrennt nach Auflage und Mineralboden (s. Tabellen 1 und 2).

**Tabelle 17: Bodenchemische Parameter der BZE Wald II**

Bodenchemische Parameter	obligatorisch	fakultativ
pH-Wert in H <sub>2</sub> O, KCl, CaCl <sub>2</sub>	Of, Oh, 0 bis 90 cm	L, 90 bis >140 cm
Kationenaustauschkapazität	Of, Oh, 0 bis 90 cm	L, 90 bis >140 cm
Organischer Kohlenstoff	Of, Oh, 0 bis 60 cm	L, 60 bis >140 cm
Gesamtstickstoff	Of, Oh, 0 bis 60 cm	L, 60 bis >140 cm
Carbonatgehalt	Of, Oh (gekalkte Probe oder pH > 5,5), 0 bis 90 cm (pH > 6,2)	L, 90 bis >140 cm
<b><i>Königswasserlöslicher Gehalt</i></b>		
Ca, K, Mg, Mn, P	Of, Oh, 5 bis 10 cm	L, 10 bis > 140 cm
Cd, Cu, Pb, Zn	Of, Oh, 0 bis >140 cm	L
Al, Fe, Na, S	Of, Oh, 0 bis 10 cm	L, 10 bis 90 cm
Cr, Hg, Ni	0 bis >140 cm	L, Of, Oh
As	0 bis >140 cm	L, Of, Oh
Organika	Of, Oh, 0 bis 30 cm	
<b><i>Gesamtgehalt</i></b>		
Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P, S, K, As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Hg, Si	–	L, Of, Oh, 0 bis 90 cm
<b><i>Mobiler Gehalt (1:2-Gehalt)</i></b>		
N-NO <sub>3</sub>	30 bis 90 cm	–
Ca, K, Mg, Na, pH, Al, Mn, Fe, Cl, S-SO <sub>4</sub> , DOC, N <sub>ges</sub> , N-NH <sub>4</sub>	–	30 bis 90 cm

**Tabelle 18: Bodenphysikalische Parameter der BZE Wald II**

Bodenphysikalische Parameter	Obligatorisch	Fakultativ
Trockenrohdichte	0 bis 30 cm, 30 bis 90 cm (auch Schätzung zulässig)	90 bis >140 cm
Korngrößenverteilung	0 bis 90 cm	L, 90 bis >140 cm
Feinbodenvorrat	0 bis 90 cm	L, 90 bis >140 cm

Weiterhin erfolgen eine waldwachstumskundliche Erhebung, die Untersuchung der Bodenvegetation, der Ernährungssituation (Blatt-/Nadelproben) und des Kronenzustands der Bäume. In Sonderstudien wurden ergänzende Parameter untersucht.

Das von der BZE II abweichende Untersuchungsspektrum der BZE I kann dem Thünen-Report von Wellbrock et al. (2016) entnommen werden. Im Rahmen der BZE Wald III werden erweiterte Untersuchungen der organischen Bodensubstanz (z. B. Humusfraktionen) sowie der Bodenbiologie (z. B. E-MAIL) geplant.

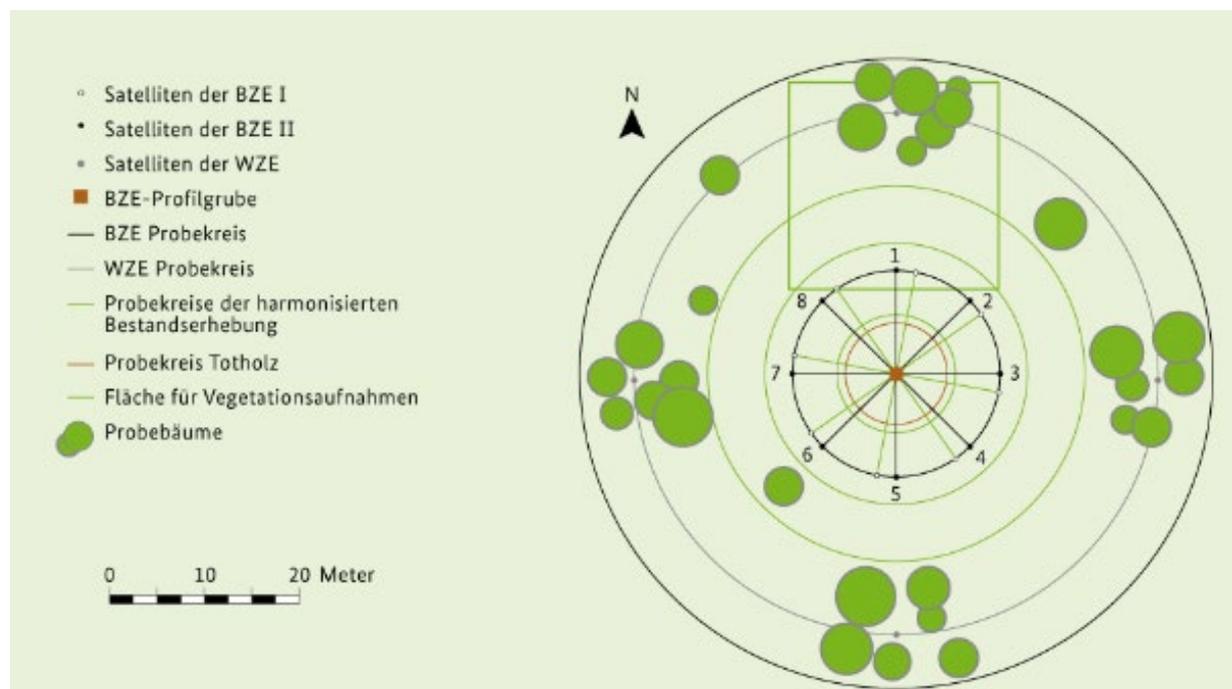
## 12 Untersuchungsmedium(en)

Boden-Feststoff, Bäume

## 13 Probenahmemethode(n)

- ▶ Auf Basis der Arbeitsanleitung zur BZE I im Wald (BMELF 1994) wurde eine angepasste und erweiterte Arbeitsanleitung für die BZE II erstellt (Wellbrock et al. 2006). Die Vergleichbarkeit der Methoden und deren Harmonisierung sind in einem separaten Band dargestellt (Höhle et al. 2016).
- ▶ Satellitenbeprobung mit einem Bodenprofil am BZE-Mittelpunkt (vgl. Abbildung 1)
- ▶ Probenahme für die chemischen Analysen nach Tiefenstufen (Mineralboden) + Auflage
- ▶ Abweichungen einzelner Bundesländer von der gemeinsamen Arbeitsanleitung beschrieben in Wellbrock et al. (2016)

**Abbildung 20: Aufnahmen an einem Inventurpunkt der BZE**



Quelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme

## 14 Entnahmetiefe(n)

- ▶ Auflagehorizonte L, Of, Oh (falls vorhanden); bei der BZE I wurden L und Of zu einer Mischprobe vereint
- ▶ 0 bis 5 cm

- ▶ 5 bis 10 cm
- ▶ 10 bis 30 cm
- ▶ 30 bis 60 cm
- ▶ 60 bis 90 cm
- ▶ sofern möglich auch 90 bis 140 cm, 140 bis 200 cm

### **15 Untersuchungsmethode(n)**

Die Untersuchungsmethoden sind je bodenchemischer und bodenphysikalischer Parameter differenziert nach BZE Wald I und II sowie inkl. länderspezifischer Modifikationen in Wellbrock et al. (2016) beschrieben.

### **16 Untersuchungshäufigkeit**

etwa alle 15 Jahre

erste Inventur 1987-1992 im Rahmen der BZE Wald I

Die Folgeerhebung BZE Wald II fand im Zeitraum 2006 bis 2008 statt.

Die BZE III ist für die Jahre 2022 bis 2024 geplant.

### **17 Verantwortliche Institutionen**

Ansprechpartner: (abschließende Auswertung in Zusammenarbeit mit Johann Heinrich von Thünen Institut und Länderinstitutionen) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz BMEL

Projektleitung: (Koordination, Speicherung, Verwaltung und Analyse der Daten) Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Institut für Waldökosysteme

Eigentümer: (Entnahme, Aufbereitung und Analyse der Bodenproben) Forstverwaltungen und Forschungseinrichtungen der Länder

### **18 Arbeitsgruppen / Gremien**

Bund-/Länder-AG BZE des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

### **19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog**

- ▶ BZE I: ACCESS-Datenbank
- ▶ BZE II: Datenerfassung: Softwarepaket BZE2\_SD des Johann Heinrich von Thünen-Instituts; Datenhaltung: relationale Datenbankmanagementsysteme Postgres

### **20 Wichtige Quellen und Publikationen**

- ▶ PortalU Umweltportal der Bundesländer, z. B. [www.portalu.sachsen.de](http://www.portalu.sachsen.de)
- ▶ BMELF (1994) Arbeitsanleitung zur ersten Bodenzustandserhebung im Wald, 2: 147 Seiten, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Berlin.
- ▶ Wolf, B. & Riek, W. (1996): Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald I, Bd. 1 (1996, überarb. Version 2007)

- ▶ Wellbrock, N.; Aydin, C.-T.; Block, J.; Bussian, B.; Deckert, M.; Diekmann, O.; Evers, J.; Gauer J.; Gehrman, J.; Kölling, C.; König, N.; Liesebach, M.; Martin, J.; Meiwes, K.-J.; Milbert, G.; Raben, G.; Riek, W.; Schäffer, W.; Schwerhoff, J.; Ullrich, T.; Utermann, J.; Volz, H.-A., Weigel, A. & Wolff, B. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Arbeitsanleitung für die Außen- aufnahmen. Hrsg. BMELV. Berlin. 413 S.
- ▶ Waldböden in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BMEL). <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/FHB-0320205-2016.pdf>
- ▶ Wellbrock N, Bolte A, Flessa H (Hrsg.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 550 Seiten, Thünen Rep 43, DOI:10.3220/REP1473930232000  
[https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/bze/Thuenen\\_Report\\_43\\_Druck\\_2016.11.08\\_mitVerzeichnis.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/bze/Thuenen_Report_43_Druck_2016.11.08_mitVerzeichnis.pdf)
- ▶ Höhle, J.; Bielefeldt, J.; Hilbrig, L.; Wellbrock, N.; Eickenscheidt, N.; Kompa, T. et al. (2016) Bodenzustandserhebung im Wald. Dokumentation und Harmonisierung der Methoden. Thünen Working Paper, unveröffentl. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig.

## 21 Fachverantwortliche(r)

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökosysteme  
Dr. Nicole Wellbrock  
E-Mail: [nicole.wellbrock@thuenen.de](mailto:nicole.wellbrock@thuenen.de)  
Telefon: +49 (0)3334 3820-304

## 22 Datum der Erstellung des Steckbriefs

24.08.2020

## 23 Datenzugang

Bundesländer: PortalU Umweltportal der Bundesländer, z. B. [www.portalu.sachsen.de](http://www.portalu.sachsen.de)

Länderübergreifende Daten können bei Dr. Nicole Wellbrock, Thünen-Institut für Waldökosysteme angefragt werden, E-Mail: [nicole.wellbrock@thuenen.de](mailto:nicole.wellbrock@thuenen.de).

Datenabgabe im Rahmen von Nutzungsverträgen.

## F.3 Steckbrief Exploratorien zu funktioneller Biodiversitätsforschung

### 1 Kurzbeschreibung

Die Biodiversitäts-Exploratorien sind ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziertes Infrastruktur-Schwerpunktprogramm. Drei Langzeituntersuchungsgebiete („Exploratorien“) wurden im Rahmen einer Initiative zur Förderung der Biodiversitätsforschung zwischen 2006 und 2009 etabliert. Die Exploratorien liegen in Großschutzgebieten unterschiedlicher Regionen Deutschlands: im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in Brandenburg, im Nationalpark Hainich-Dün und seiner Umgebung in Thüringen und im Biosphärengebiet Schwäbische Alb in Baden-Württemberg. Sie vereinigen die Biodiversitäts- und Ökosystemforschung und ermöglichen die großskalige, langfristige Untersuchung der Wirkung von Biodiversitätswandel auf Ökosystemprozesse.

Jedes Exploratorium umfasst 1.000 Untersuchungsflächen in einem Raster, die sogenannten Gridplots, die einen Großteil der in einer Region vorkommenden Arten von Grünland und Wald enthalten. Auf diesen Flächen erfolgten zu Projektbeginn eine Bodeninventur und Wald- bzw. Grünlandinventur. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden 100 Flächen je Exploratorium als Experimentierplots definiert, die Standorte für weitere Forschung sind. Sie unterscheiden sich grundlegend in der Landnutzung und dienen der Erfassung der Biodiversität, dem Umweltmonitoring sowie manipulativen Experimenten. Die Flächen decken eine Bandbreite unterschiedlicher Landnutzungs- und Managementtypen ab, bei möglichst einheitlichen Standortfaktoren. Alle Experimentierplots sind mit Klimastationen ausgestattet, die kontinuierlich verschiedene Parameter wie Boden- und Lufttemperatur sowie Bodenfeuchte aufzeichnen.

Innerhalb der Exploratorien gibt es Kernprojekte und ergänzende, themenspezifische Projekte (in der aktuellen Förderphase 2020-2023 insgesamt 45 Einzelprojekte). Die zentralen Projekte („Kernprojekte“) waren für den Aufbau der Exploratorien verantwortlich, koordinieren seit der dritten Projektphase (2011-2014) übergreifende Projektaktivitäten und führen Basisaufnahmen von Organismen und Prozessen durch. Das Kernprojekt „Boden“ stellt Informationen zu Bodeneigenschaften und -funktionen für alle 300 Experimentierplots über das Informationssystem BExIS bereit. Hier sind auch frei verfügbare Datensätze zu finden. Es umfasst u. a. das Monitoring von Bodeneigenschaften, z. B. Enzymaktivitäten, die Bestimmung des Nährstoffaustrags aus dem Boden und die Messung der Bodenatmung. Im Kernprojekt „Mikroorganismen“ erfolgt die Langzeiterfassung der mikrobiellen Gemeinschaft.

Allgemein arbeiten in den 45 beteiligten Einzelprojekten insgesamt etwa 250 Wissenschaftler interdisziplinär zusammen. Dadurch kommt es zu einem stetigen Output an Abschlussarbeiten, Publikationen, Präsentationen und Outreachprodukten, von denen ein großer Anteil boden- und klimarelevante Bedeutung hat.

### 2 Zweck

Untersuchungen zur Beantwortung der folgenden Fragestellungen:

- ▶ Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Formen der Landnutzung auf die Biodiversität und die Ökosystemprozesse?
- ▶ Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen verschiedenen Komponenten der Biodiversität (z. B. zwischen der Pflanzenvielfalt und der Vielfalt der Bodenorganismen)?

- ▶ Wie beeinflusst Biodiversität bestimmte Ökosystemprozesse (etwa die Biomasseproduktion, den Kohlenstoffkreislauf, die Blütenbestäubung oder den Abbau von Totholz)?

### **3 Nutzung/Anwendungsbereiche**

- ▶ offene Forschungsplattform für Wissenschaftler

### **4 Anwender der Ergebnisse**

- ▶ universitäre und sonstige Forschungseinrichtungen

### **5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen**

Bis zu drei Jahre nach der Datenerfassung ist die Datennutzung auf Mitglieder der Biodiversitäts-Exploratorien beschränkt. Danach sind die Daten in der Regel öffentlich zugänglich (<https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/PublicDataDefault.aspx>).

### **6 Räumliche Ausdehnung**

Bundesrepublik Deutschland (drei Untersuchungsgebiete)

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

Abbildung 21: Untersuchungsgebiete der Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung

---



## 8 Zeitbezug

seit 2006 (Aufbau, Einrichtung und erste Inventuren); weitere Projekte und Datenaufnahmen seit 2008

## 9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

300 Untersuchungsflächen; jeweils 100 Flächen auf einer Fläche von ca. 1.300 km<sup>2</sup> (Exploratorien Schorfheide-Chorin und Hainich-Dün) bzw. 420 km<sup>2</sup> (Exploratorium Schwäbische Alb)

## 10 Verteilung der Untersuchungsstandorte

jeweils 100 Untersuchungsflächen in drei Regionen Deutschlands: Hainich-Dün (Thüringen), Schorfheide-Chorin (Brandenburg) und Schwäbische Alb (Baden-Württemberg)

## 11 Parameter

Folgende (bodenbezogene) Messgrößen werden seit 2011 alle drei Jahre erhoben (auf allen 300 Plots, wenn nicht anders angegeben):

- ▶ organischer Kohlenstoff-Gehalt, Gesamtkohlenstoff-, Gesamtstickstoff-, Carbonatgehalt
- ▶ Trockenrohdichte, Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte
- ▶ Grobbodenanteil

- ▶ Textur (einmalig 2011)
- ▶ pH-Wert
- ▶ Kationenaustauschkapazität (einmalig 2017)
- ▶ Bodenwassergehalt
- ▶ mikrobielle Biomasse ( $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$ ),  $K_2SO_4$ -extrahierbarer Kohlenstoff (EOC)/Stickstoff (EN) (Grünland-Plots, unregelmäßig auf Wald-Plots)
- ▶ mikrobielle Gemeinschaftsstruktur, Pilz/Bakterienverhältnis (nur 150 Grünland-Plots)
- ▶ potenzielle Enzymaktivitäten
- ▶ molekularbiologische Parameter (Allgemeine Bodenpilze, Arbuskuläre Mykorrhizapilze, Bodenbakterien)

Darüber hinaus liegen Langzeitreihen meteorologischer und bodenkundlicher Parameter aus allen drei Exploratorien vor. Die Aufbereitung und das Herunterladen der Klimazeitreihen, z. B. mit einer zeitlichen Auflösung von Tagen, ist möglich. Es gibt Zeitreihen von Lufttemperatur, Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Niederschlag, Wind und Sonnenscheindauer.

## 12 Untersuchungsmedium(en)

Boden-Festphase

## 13 Probenahmemethode(n)

Beprobung entlang eines Transektes (20 m im Grasland, 40 m im Forst) mit Split-Tube-Bohrer und Erstellung von Mischproben (14 Einstiche), Tiefenstufen

## 14 Entnahmetiefe(n)

0 bis 10 cm

## 15 Untersuchungsmethode(n)

Die Methodenbeschreibung ist je Messgröße/Analyse online verfügbar:

- ▶ Carbonat, Kohlenstoff und Stickstoff: Elementaranalyse (<https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ShowPublicXml.aspx?DatasetId=14446> sowie Vorräte: <https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ShowPublicXml.aspx?DatasetId=17086>)
- ▶ pH-Wert: Messung mit Glaselektrode in 0.01 M  $CaCl_2$ -Lösung (<https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ShowPublicXml.aspx?DatasetId=14447>)
- ▶ Untersuchungen zur mikrobiellen Biomasse: CFE/PLFA (<https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ShowPublicXml.aspx?DatasetId=20250>)
- ▶ potenzielle Enzymaktivitäten: (Grünland: <https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ShowPublicXml.aspx?DatasetId=20246> sowie Wald: <https://www.bexis.uni-jena.de/Data/ShowXml.aspx?DatasetId=23906>.) Molekularbiologische Parameter – Bestimmung der allgemeinen Bodenpilze:

DNA-Extraktion nach Goldmann et al. (2015); Illumina MiSeq Sequenzierungen der ITS2 Region mit bioinformatischer Aufarbeitung nach Schöps et al. (2018)

- ▶ molekularbiologische Parameter – Bestimmung der Mykorrhizapilze: DNA-Extraktion nach Goldmann et al. (2015); Illumina MiSeq Sequenzierungen der 18S Region mit nachfolgender bioinformatischer Aufarbeitung mit der Standardprozedur von MOTHUR (Schloss et al. 2009)
- ▶ molekularbiologische Parameter – Bestimmung der Bodenbakterien: RNA-Extraktion mittels dem angepassten Lüders-Protokoll nach Wüst et al. (2016); Illumina HiSeq Sequenzierung der V3 Region des 16S rRNA Gens mittels des Bartram-Protokolls (Bartram et al. (2011)

## 16 Untersuchungshäufigkeit

alle drei Jahre; die für das Jahr 2020 geplante Probenahme entfällt und wird 2021 erfolgen

## 17 Verantwortliche Institutionen

- ▶ Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (Koordination)
- ▶ Universitäten Jena, Darmstadt, Bern, Ulm, Göttingen, Hohenheim, Würzburg, Freiburg, München, Marburg
- ▶ Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena
- ▶ Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- ▶ Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
- ▶ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
- ▶ Leibniz-Institut DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ)

## 18 Arbeitsgruppen / Gremien

-

## 19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog

- ▶ BExIS: Exploratorien Datenbank mit Metadaten, Datensätzen, Feldbuch und Plotinformationen
- ▶ Klimadaten verfügbar über: <https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/ClimateDataPublic/ClimateDataPublicAbout.aspx>

## 20 Wichtige Quellen und Publikationen

- ▶ Homepage des Projektes: <https://www.biodiversity-exploratories.de/startseite>
- ▶ Poster zur Veranschaulichung der Forschungsstruktur der Exploratorien:  
[https://www.biodiversity-exploratories.de/fileadmin/projects/beo/assets/Poster\\_Exploratories\\_general\\_german\\_2014.pdf](https://www.biodiversity-exploratories.de/fileadmin/projects/beo/assets/Poster_Exploratories_general_german_2014.pdf)

[https://www.biodiversity-exploratories.de/fileadmin/projects/beo/assets/Poster\\_Stakeholder.pdf](https://www.biodiversity-exploratories.de/fileadmin/projects/beo/assets/Poster_Stakeholder.pdf)

- ▶ Pfeiffer S., Bernert P., Großmann M., Henne E., Kalko E.K.V., Linsenmair K.E., Prati D., Schulze E.D., Weisser W.W., Fischer M. (2008): Exploratorien für funktionelle Biodiversitätsforschung. In: Wolters V., Krüß A. (eds) Naturschutz und Ökologie - Ausgewählte Beiträge zur GfÖ-Jahrestagung 2007 in Marburg. Naturschutz und Biologische Vielfalt, BfN-Skripten 60, 183-188

<https://pdfs.semanticscholar.org/1d7c/821ff11ed244979c8a3eefb51b8f1e6488e7.pdf>

- ▶ Methoden der molekularbiologischen Parameter

Bartram, A.K., Lynch, M.D.J., Stearns, J.C., Moreno-Hagelsieb, G., and Neufeld, J.D. (2011) Generation of Multimillion-Sequence 16S rRNA Gene Libraries from Complex Microbial Communities by Assembling Paired-End Illumina Reads. *Applied and Environmental Microbiology* 77: 3846-3852.

Goldmann, K., Schöning, I., Buscot, F., & Wubet, T. (2015): Forest management type influences diversity and community composition of soil fungi across temperate forest ecosystems. *Front Microbiol* 6.

Schloss, P. D., Westcott, S. L., Ryabin, T., Hall, J. R., Hartmann, M., Hollister, E. B., ... & Sahl, J. W. (2009): Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 7537-7541.

Schöps, R., Goldmann, K., Herz, K., Lentendu, G., Schöning, I., Bruelheide, H., ... & Buscot, F. (2018): Land-use intensity rather than plant functional identity shapes bacterial and fungal rhizosphere communities. *Frontiers in Microbiology* 9, 2711.

Wüst, P.K., Nacke, H., Kaiser, K., Marhan, S., Sikorski, J., Kandeler, E. et al. (2016) Estimates of the bacterial ribosome content and diversity in soils are significantly affected by different nucleic acid extraction methods. *Applied and Environmental Microbiology* 82: 2595-2607.

- ▶ Weitere projekt-/themenspezifische Publikationen finden sich unter: <https://www.biodiversity-exploratories.de/publikationen>

## 21 Fachverantwortliche(r)

Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung – Biodiversität und Klima Forschungszentrum  
Dr. Victoria Griessmeier (Wissenschaftliche Koordination)  
E-Mail: [victoria.griessmeier@senckenberg.de](mailto:victoria.griessmeier@senckenberg.de)  
Telefon: +49 69 7542 1879

## 22 Datum der Erstellung des Steckbriefs

25.08.2020

## 23 Datenzugang

Zentrales Datenmanagement der Exploratorien in BEXIS (Biodiversitäts-Exploratorien Informationssystem): [https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/About\\_Ger.aspx](https://www.bexis.uni-jena.de/PublicData/About_Ger.aspx)

Öffentliche (frei zugängliche) Daten, Aktualisierung i. d. R. einmal jährlich.

## F.4 Steckbrief Land Use and Cover Area Frame Survey (LUCAS Soil)

### 1 Short Description

LUCAS Soil (Land Use / Cover Area Frame Statistical Survey Soil) is an extensive and regular topsoil survey that is carried out across the European Union to derive policy-relevant statistics on the effect of land management on soil characteristics. This survey represents the first attempt to construct a pan-European topsoil database, which can serve as a baseline for EU-wide soil monitoring. The main aim of the LUCAS Soil program was to create the first harmonized and comparable dataset of topsoil properties at the EU scale. This was made possible because (i) all samples were collected following the same sampling protocol and (ii) all samples were analyzed by a single laboratory using standard analytical methods (ISO). The survey is planned for every three years in conjunction with the main LUCAS survey, although discussions are ongoing to lengthen the interval to four or five years. It was developed as an expandable resource, with the possibility to add new properties and sampling locations during successive sampling campaigns.

### 2 Purpose

- ▶ to create a harmonized, comparable, large-scale and open-access dataset of soil properties and to improve the quality of soil modelling in Europe
- ▶ updating the European soil database
- ▶ supporting the development, implementation and review of EU land-based policies
- ▶ assess variations in soil functions and ecosystem services provided by soil, such as nutrient cycling, carbon sequestration and climate regulation, water retention capacity, and buffering capacity, as well as the pressures affecting soil condition (e.g. pollution, erosion, etc.).
- ▶ validation of small-scale models involving soil properties and comparison and checking of the quality of national and regional soil inventories

### 3 Usage/Applications

European Union-wide soil monitoring

### 4 User of the results

Scientists, policy makers, NGOs, public

### 5 Application, access and usage restrictions

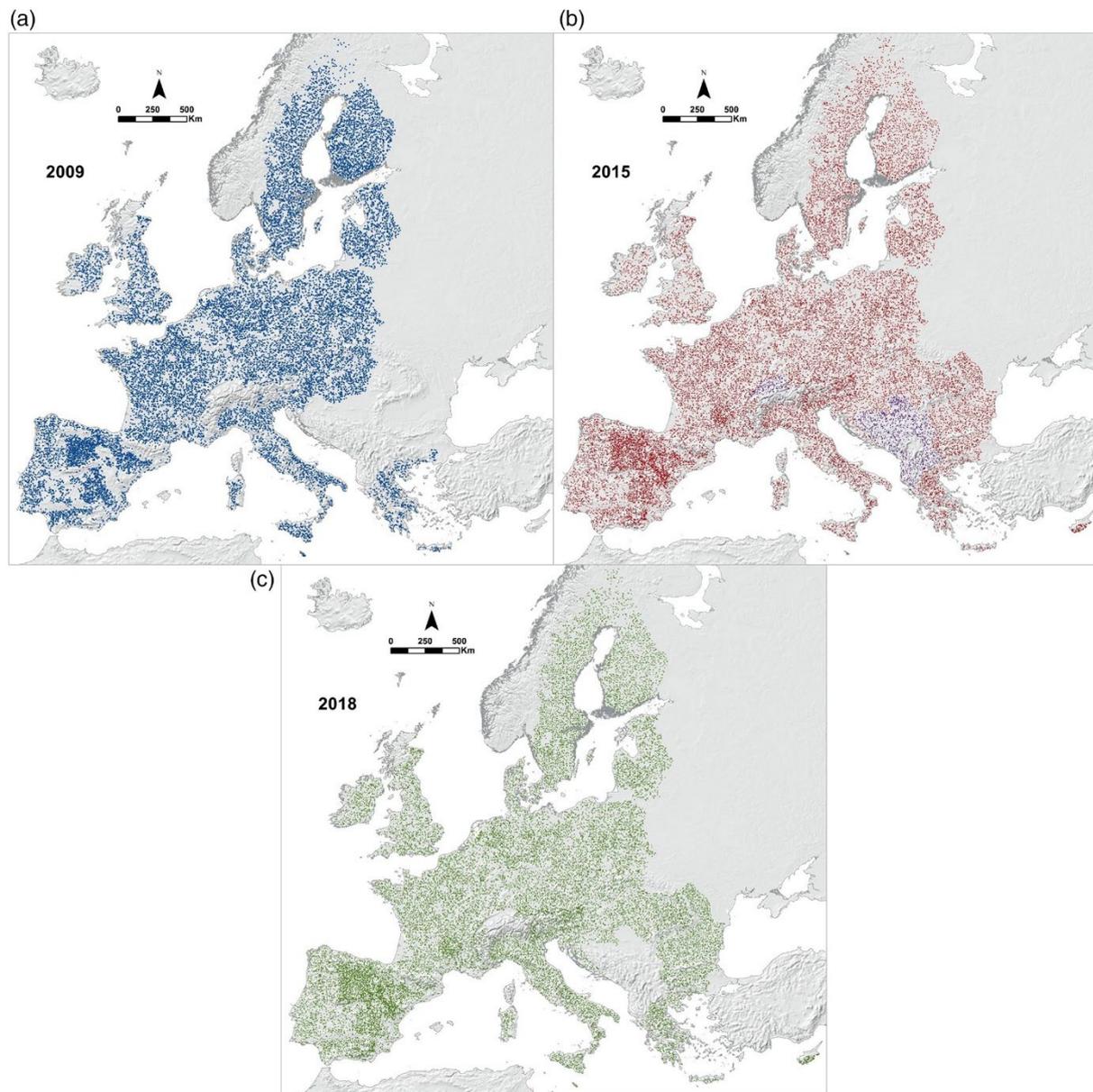
None; Data are available to the scientific community and decision makers, thus contributing to both research and the development of the land-focused policy agenda. Some parameters are aggregated to a regional level

### 6 Spatial extent

European Union

## 7 Sites-Map

Figure 22: LUCAS Soil sampling points in 2009 (a), 2015 (b) and 2018 (c)



Source: Orgiazzi, A. et al. (2018): LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*, Volume: 69/1: 140-153. <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>; p 142.

## 8 Time-reference

since 2009

## 9 Number/density of the sites

approximately 70.000 soil samples (2009-2018); >2.000 samples in Germany

The LUCAS Soil points are a subset of the overall LUCAS Survey: based on a nominal 2 x 2 km grid over the EU member states. The soil sample is approximately 10% of LUCAS points that are visited in the field by surveyors to validate the overall LUCAS Survey.

The next LUCAS Survey will be realised in 2022 with approximately 22.000 locations. Resampling takes place on similar points (observation distance  $\leq 100\text{m}$  from LUCAS points).

For the 2009 surveys, except for Cyprus and Malta, the results from the analysis of the soil samples can be related to geographic locations and the observations of the main LUCAS survey. Approx. 99% of all repeated samples were taken to within 25 m of the LUCAS observations (2009 to 2015: 98.8%; 2012 to 2015: 99.7%) over 99.5% to within 50m (2009 to 2015: 99.5%; 2012 to 2015: 99.9%). For further information refer to: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public\\_path/shared\\_folder/JRC112711\\_lucas\\_oc\\_data\\_evaluation\\_final.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/JRC112711_lucas_oc_data_evaluation_final.pdf)

## 10 Site distribution

EU-28 Member States and (only in the survey 2015) Albania, Bosnia-Herzegovina, Former Yugoslav Republic of Macedonia Montenegro, Serbia and Switzerland.

(since 2012: Romania and Bulgaria; since 2015: Croatia and locations at altitudes > 1000 m)

## 11 Sampling parameters

- ▶ physico-chemical properties:
  - coarse fragments and particle size (clay, silt and sand content)
  - pH (acidity and alkalinity)
  - organic carbon
  - carbonate
  - phosphorus
  - extractable potassium
  - total nitrogen
  - cation exchange capacity
  - electrical conductivity (*since 2015*)
  - metals (*only 2009-2012 and 2018*)
  - multispectral properties (*only 2009-2012 and 2015; scheduled for 2021*)
  - mineralogy (*2015, scheduled for 2018 and 2021*)
- ▶ bulk density and soil moisture (*since 2018, measured at 9000 points*)
- ▶ soil biodiversity (*since 2018*):
  - Bacteria and Archaea (16S rDNA)
  - Fungi (ITS)
  - Eukaryotes (18S rDNA)
  - Microfauna (nematodes) (*proposed for 2022*)
  - Mesofauna (arthropods) (*proposed for 2022*)
  - Macrofauna (earthworms) (*proposed for 2021*)

- ▶ field measurements (*since 2018*)
  - assessment of erosion
  - thickness of organic layer in Histosols (*measured at 1470 locations*)
  - soil structure (*proposed for 2022*)
- ▶ organic pollutants, pesticides residues, microplastics pilot (*since 2018*)

**Figure 23: Sampling parameters of LUCAS Soil**

MODULE	Type of analysis	Year of survey				
		2009–2012	2015	2018	2021	→
<b>MODULE 1</b> Physico-chemical properties	Coarse fragments (>2 mm)/%					
	PSD <sup>1</sup> : clay, silt, sand/%					
	pH (CaCl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)					
	Organic carbon/g kg <sup>-1</sup>					
	Carbonate content/g kg <sup>-1</sup>					
	Total nitrogen content/g kg <sup>-1</sup>					
	Extractable potassium content/mg kg <sup>-1</sup>					
	Phosphorous content/mg kg <sup>-1</sup>					
	Cation exchange capacity/cmol(+) kg <sup>-1</sup>					
	Electrical conductivity/mS m <sup>-1</sup>					
	Metals					
	Multispectral properties					
	Mineralogy					
<b>MODULE 2</b> Soil biodiversity	Bacteria and Archaea (16S rDNA)					
	Fungi (ITS)					
	Eukaryotes (18S rDNA)					
	Microfauna (nematodes)					
	Mesofauna (arthropods)					
	Macrofauna (earthworms)					
	Metagenomics					
<b>MODULE 3</b> Bulk density	Bulk density					
	Soil moisture					
<b>MODULE 4</b> Field measurements	Soil erosion by water and wind					
	Thickness of organic layer in Histosols					
	Soil structure					
<b>MODULE 5</b> Pollution	Organic pollutants					
	Pesticides residues					

Possibility to include new modules

PSD<sup>1</sup>, particle-size distribution.

Different modules form the overall structure of the survey; each module corresponds to different types of analyses. The analyses are repeated at a standard time interval, namely every 3 years. Types of analyses already established (full colour cells) for the campaign scheduled for 2018. Possible analyses for 2021 (dotted cells) are still under discussion and there will be the opportunity to implement the survey further by including new modules.

The analyses are split into modules because of the many different properties. Source: Orgiazzi, A. et al. (2018): LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science* 69/1: 140-153. <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>; p 143.

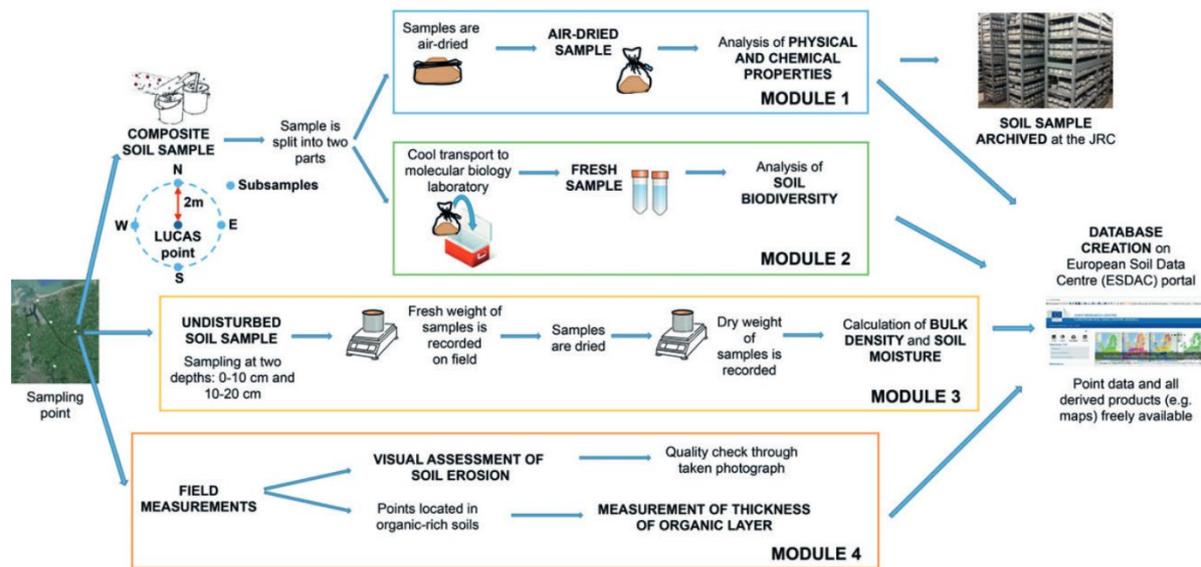
## 12 Test media

Soil, soil biology.

## 13 Sampling method(s)

At each sampling point, five sub-samples from 0-20-cm depth shall be collected and mixed in a composite sample. Following steps see Figure 8.

**Figure 24: LUCAS Soil workflow from sampling to database generation**



Schematic diagram of LUCAS Soil workflow from sampling to database generation. To organize the workflow better, different analyses were grouped into different modules. Each module can be repeated, or not, in successive sampling campaigns. For instance, in 2009–2012 and 2015 samples were collected for module 1 only (i.e. physical and chemical soil properties), whereas in 2018 modules 2, 3 and 4 will be added to analyses soil biodiversity, bulk density, soil erosion and organic-rich soil.

Source: Orgiazzi, A. et al. (2018): LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science* 69/1: 140-153. <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>; p 144.

Details of sampling methods: LUCAS - SOIL Component (2017): Sampling Instructions for Surveyor: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public\\_path/shared\\_folder/doc\\_pub/JRC105923\\_LUCAS2018\\_JRCTechnicalReport.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/JRC105923_LUCAS2018_JRCTechnicalReport.pdf)

#### 14 Sampling depth(s)

Topsoil survey: 0-10 cm and 10-20 cm depth; In 2018, 20-30 cm added for Portugal. Discussions ongoing about extending all points to 0-30cm,

#### 15 Analysis method(s)

- ▶ Coarse fragments: The mineral particles not passing the 2-mm sieve are weighed separately to determine the content of coarse
- ▶ Particle-size distribution: ISO 13320:2009, Laser diffraction following
- ▶ pH: ISO 10390:1994, includes the determination in both water and calcium chloride
- ▶ Cation exchange capacity: ISO 11260:1994; concentrations of exchangeable sodium, potassium, calcium and magnesium in soil fragments
- ▶ Organic carbon content: ISO 10694:1995
- ▶ Carbonate content: ISO 10693:1994; standard reproduces the Scheibler method
- ▶ Phosphorus content: ISO 11263:1994

- ▶ Total nitrogen (N) content: ISO 11261:1995; concentrations of ammonium-N, nitrate-N, nitrite-N and organic N
- ▶ Extractable potassium content: following the Soil Survey Laboratory Manual produced by the United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (USDA NRCS, 2004)
- ▶ Electrical conductivity: ISO 11265:1994
- ▶ Metals: inductively coupled plasma–optical emission spectrometry. Measured metals: As, Cd, Co, Cr, Cu, Re, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn.
- ▶ Multispectral analysis: recording of the full continuous reflectance spectrum from 400 to 2500 nm with a spectral resolution of 2 nm (for measuring organic carbon)
- ▶ Mineralogical composition of the clay fraction (<2 µm): X-ray diffraction (XRD), interpretation and quantification with the NEWMOD software.
- ▶ Soil biodiversity analysis: DNA metabarcoding
- ▶ Guidelines for soil erosion assessment: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public\\_path/shared\\_folder/doc\\_pub/JRC105923\\_LUCAS2018\\_JRCTechnicalReport.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/JRC105923_LUCAS2018_JRCTechnicalReport.pdf) (p 36-42)

## 16 Sampling frequency

Every 3 years, discussions are ongoing to extend interval to four years (survey in 2009, 2012, 2015, 2018 and 2022 (scheduled))

## 17 Responsible institutions

- ▶ Initiator: European Statistical Office (EUROSTAT)
- ▶ Design execution: Joint Research Center (JRC)
- ▶ Soil sample collection and laboratory analyses: Directorate-General Environment (DG-ENV), Directorate-General Agriculture and Rural Development (DG-AGRI) and Directorate-General Climate Action (DG-CLIMA)

## 18 Working groups / panels

Cooperation with LUCAS: Directorate General (DG) for Agriculture and Rural Development; DG for Climate Action; DG for Environment and DG for Health and Food Safety

## 19 Data content, object type catalog, description catalog

- ▶ Dataset online:  
LUCAS 2009 TOPSOIL data: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/lucas-2009-topsoil-data>  
LUCAS 2015 TOPSOIL data: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/lucas2015-topsoil-data>
- ▶ Data available as Excel file, RDATA, .csv and shapefile.

## 20 Sources and publications

LUCAS - Land use and land cover survey: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS - Land use and land cover survey](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey)

Tóth, G. et al. (2013): LUCAS Topsoil Survey – Methodology, data and results. JRC Technical reports, Report EUR 26102 EN. [http://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eusoils\\_docs/other/EUR26102EN.pdf](http://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR26102EN.pdf)

Orgiazzi, A. et al. (2018): LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. European Journal of Soil Science 69/1: 140-153. <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>

Ballin, M. et al. (2018): Redesign sample for Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS) 2018. Statistical Working Papers, Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3888793/9347564/KS-TC-18-006-EN-N.pdf/26cbdb1a-c418-4dfa-bc24-a27d1bc5599c>

Fernández-Ugalde O., Orgiazzi A., Jones A., Lugato E., Panagos P. (2017): LUCAS-Soil Component: Sampling Instructions for Surveyors [including sampling manuals] [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public\\_path/shared\\_folder/doc\\_pub/JRC105923\\_LUCAS2018\\_JRCTechnicalReport.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/JRC105923_LUCAS2018_JRCTechnicalReport.pdf)

Fernández-Ugalde O., Jones A.; Tóth, G., Orgiazzi A., Panagos P., Eiselt, B. (2016): LUCAS Soil Component: proposal for analysing new physical, chemical and biological soil parameters; EUR28038 EN; doi:10.2788/884940 [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Doc\\_Pub/ESDB\\_Archive/eusoils\\_docs/other/EUR28038.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Doc_Pub/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR28038.pdf)

Hiederer, R. (2018): Data Evaluation of LUCAS Soil Component Laboratory Data for Soil Organic Carbon. [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public\\_path/shared\\_folder/JRC112711\\_lucas\\_oc\\_data\\_evaluation\\_final.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/JRC112711_lucas_oc_data_evaluation_final.pdf)

## 21 Responsible expert

European Commission, Joint-Research-Center  
Dr. Arwyn Jones  
E-Mail: [Arwyn.Jones@ec.europa.eu](mailto:Arwyn.Jones@ec.europa.eu)  
Telefon: +39 0332-789162

## 22 Date of completion

07.10.2020

## 23 Data access

Free access for data download (after filling a request form): European Soil Data Centre Portal: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/soil-point-data>. Data from the 2009 LUCAS campaign soil component containing soil properties data (clay, silt and sand content, coarse fragments, pH, organic carbon content, CaCO<sub>3</sub>, nitrogen, phosphorous, potassium, cation exchange capacity) and multispectral absorbance data.

## F.5 Steckbrief Humusmonitoring Nordrhein-Westfalen

### 1 Kurzbeschreibung

Im Rahmen eines vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) initiierten Projekts wurde gemeinsam mit dem Geologischen Dienst NRW, der Landwirtschaftskammer und der Universität Bonn unter Beteiligung des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKUNLV) ein Humusmonitoring entwickelt. Die Grundlage für das Projekt war eine Auswertung vorhandener TOC-Daten, die von der Universität Bonn im Auftrag des LANUV durchgeführt worden war und Defizite aufgezeigt hatte (Preger et al. 2006). Im Jahr 2009 wurden insgesamt 200 Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen untersucht, verteilt auf fünf Naturräume und in Abhängigkeit vom prozentualen Anteil der Ackernutzung in diesen Naturräumen. Im Rahmen des Extensivprogramms wurden im Jahr 2009 zur Bestimmung standorttypischer Humusgehalte einmalig die Kohlenstoff-Gehalte sowie weitere bodenchemische und bodenphysikalische Parameter der Oberböden von 200 Flächen bestimmt. Das Intensivmonitoring (Langzeituntersuchung) ist Teil von Untersuchungen zu Fragen der Bodenveränderungen, z. B. ob der Klimawandel oder die Bewirtschaftung eine schleichende Abnahme der Humusgehalte in Ackerböden hervorrufen bzw. beschleunigen werden. Hierzu werden auf 45 von den 200 Standorten in drei Naturräumen von Nordrhein-Westfalen (Rheinische Bucht, Kempener Platte im Niederrheinischen Tiefland, Westfälische Bucht) jährlich der Humusgehalt sowie weitere chemische Basisparameter des Ober- und Unterbodens untersucht. Zusätzlich werden alle drei Jahre Humusvorräte berechnet und zudem Humusfraktionierungen (POM-Analysen) zur Quantifizierung unterschiedlich stabiler C-Pools im Boden durchgeführt. Für den Zeitraum 2010 bis 2030 wurde eine prognostische Humusmodellierung für die Intensivstandorte berechnet.

### 2 Zweck

- ▶ Ermittlung standorttypischer Humusgehalte
- ▶ Überwachung von Veränderungen der Gesamt-Humusgehalte, von Humusvorräten und der Humusfraktionen auf Ackerflächen

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Bodenschutz
- ▶ Landwirtschaft (Beratung)
- ▶ Bewertung von Ackerflächen (Bodenschätzung)

### 4 Anwender der Ergebnisse

- ▶ Landesämter (Umwelt, Geologie, Landwirtschaft)
- ▶ Umweltministerien der Länder
- ▶ Landwirtschaftskammer
- ▶ Landwirte
- ▶ universitäre und sonstige Forschungseinrichtungen

## 5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen

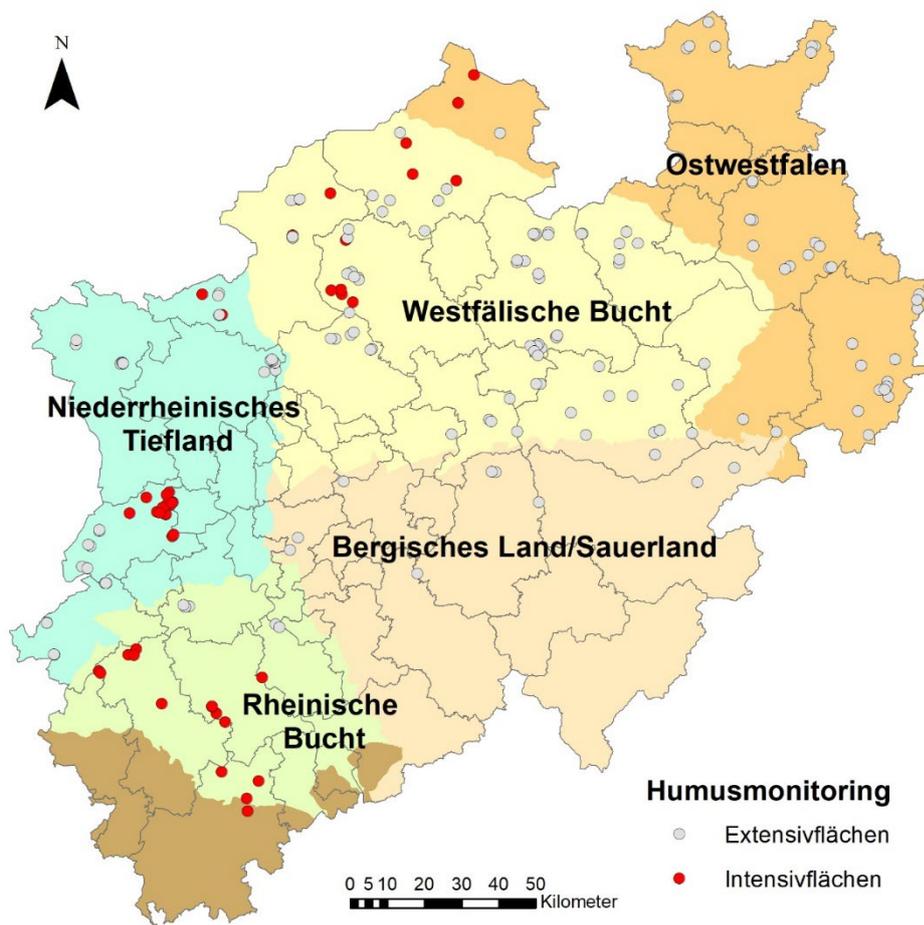
- ▶ Da horizontbezogen beprobt wird, sind die Ergebnisse nur eingeschränkt auf feste Tiefenstufenbeprobungen übertragbar.
- ▶ Für Auswertungen werden die Daten zur Verfügung gestellt. Es wird dazu ein Nutzungsvertrag geschlossen. Für Veröffentlichungen dürfen die Ergebnisse nur anonymisiert unter Nennung der Quelle verwendet werden.

## 6 Räumliche Ausdehnung

Nordrhein-Westfalen

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

Abbildung 25: Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW



Quelle: LANUV NRW

## 8 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

Die Verteilung der Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring-Programms in den Regionen Nordrhein-Westfalens geht mit Bezug zur Ackerfläche und zur Bodenart aus den Tabellen 4 und 5 hervor.

**Tabelle 19: Anzahl der Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW**

Region	Ackerfläche (ha)	Ackerfläche (%) der AF	Anzahl Proben berechnet	Anzahl Proben verteilt
Eifel	15.444	1,4	2,9	3
Niederrhein	159.812	14,8	29,6	30
Niederung WL	468.191	43,4	86,8	86
Ostwestfalen	208.779	19,3	38,7	39
Rheinische Bucht	150.433	13,9	27,9	28
Sauerland / Bergisches Land	76.638	7,1	14,2	14
Summe	1.079.297		200	200

**Tabelle 20: Anzahl der Untersuchungsstandorte des Humusmonitoring NRW nach Bodenart**

Region	Proben pro Bodenart					Summe
	1_S	2_IS,_sU	3_ssl,_IU	4_sL,_uL,_L	5_utL,_tL,_T	
Eifel						0
Niederrhein	10	10	10	15*		45
Niederung WL	25*	25	10	10	10	80
Ostwestfalen	10		10	10	10	40
Rheinische Bucht			5	15*		20
Sauerland / Bergisches Land			5	10		15
Summe	45	35	40	60	20	200

\* einschließlich Intensivflächen

## 9 Verteilung der Untersuchungsstandorte

Die Gesamtzahl von 200 Flächen wurde in Anlehnung an andere Bundesländer festgelegt. Die Verteilung auf die Regionen erfolgte auf der Grundlage des prozentualen Anteils an Ackerflächen in den Naturräumen. Die Verteilung der Probenahmestellen in der Region erfolgte zufällig unter Berücksichtigung der Bodenart und der Einwilligung der Landwirte.

### **a) Extensivprogramm:**

200 Flächen wurden im Jahr 2009 beprobt, um die standorttypischen Humusgehalte zu ermitteln. Mit Hilfe der Einmessung per GPS ist eine erneute Probenahme im Prinzip möglich. Dazu kommen drei Flächen aus dem Intensivprogramm, die ab dem Jahr 2010 ausgetauscht wurden.

### **b) Intensivprogramm:**

Von den 200 untersuchten Standorten im Extensivprogramm wurden 45 Flächen aus drei unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen mit unterschiedlicher Humusbilanz (pro Bewirtschaftungsform/Region etwa 15 Flächen) ausgewählt:

- ▶ Ackerflächen typischer Marktfrucht-Ackerbaubetriebe auf Löss-Parabraunerden in der Rheinischen Bucht; Bodenartenhauptgruppe 4
- ▶ Flächen typischer Veredelungsbetriebe auf sandigen Braunerden in der Westfälischen Bucht; Bodenartenhauptgruppe 1 (Borken, Coesfeld, Steinfurt)
- ▶ Gemüseanbauflächen im Niederrheinischen Tiefland; Bodenartenhauptgruppe 4 (Kempener Platte)

#### **10 Zeitbezug**

2009 bis 2024

#### **11 Parameter**

##### **a) Extensivprogramm (einmalig in 2009):**

- ▶ CN-Elementaranalysen, daraus berechnet TOC und Humusgehalt
- ▶ Carbonat
- ▶ C/N-Verhältnis
- ▶ pH-Wert in  $\text{CaCl}_2$
- ▶ CAL-K/P/Mg (LUFA-Methode)
- ▶ Korngrößenverteilung und daraus Bestimmung der Bodenart nach KA5 und LWK
- ▶ umfangreiche (Schwer-)Metallanalysen
- ▶ Erstellung einer Humusbilanz für sechs zurückliegende Jahre (mind. zwei Fruchtfolgen)

##### **b) Intensivprogramm (2009 bis 2024):**

- ▶ CN-Elementaranalysen, daraus berechnet TOC und Humusgehalt
- ▶ Carbonat
- ▶ C/N-Verhältnis
- ▶ pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )
- ▶ Grobbodenanteil (alle drei Jahre)
- ▶ Trockenrohdichte (alle drei Jahre)
- ▶ Berechnung der Humusvorräte (alle drei Jahre)
- ▶ Bestimmung von Humusfraktionen mittels POM-Fraktionierung (2009, 2012, 2015, 2018) und Berechnung aus MIR-Spektren
- ▶ Korngrößenverteilung und daraus Bestimmung der Bodenart nach KA5 und LWK (nur 2009)
- ▶ effektive und potenzielle Austauschkapazität (nur 2009)

- ▶ Basensättigung (nur 2009)
- ▶ CAL-K/P/Mg (nur 2009, LUFA-Methode)
- ▶ umfangreiche (Schwer-)Metallanalysen (2009)
- ▶ Erstellung einer Humusbilanz für sechs zurückliegende Jahre (mind. zwei Fruchtfolgen) sowie für den Zeitraum 2009 bis 2018
- ▶ Bewirtschaftungsdaten: Anbauinformationen und Informationen über Brachezeiten oder Zwischenfruchtanbau, Kulturart, Düngungsart, Art und Termine der Bodenbearbeitung sowie Saat- und Erntetermine (jährlich)
- ▶ Raster-Klimadaten vom DWD

## **12 Untersuchungsmedium(en)**

Boden-Festphase

## **13 Probenahmemethode(n)**

**Das Probenahmekonzept ist in Abbildung 26 dargestellt.**

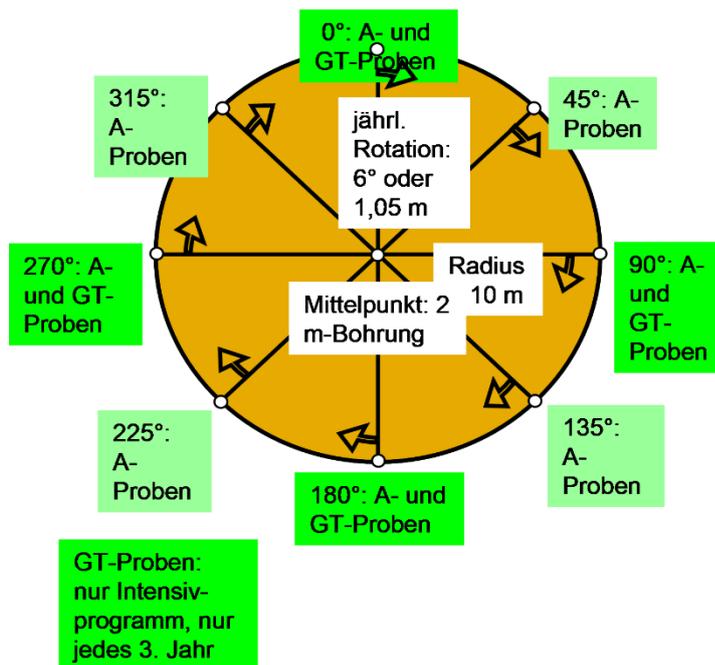
### **a) Extensivprogramm:**

Für die einmalige Beprobung des Ap-Horizonts wurden acht Beprobungspunkte im Radius von 10 m um einen Orientierungspunkt im Winkelabstand von je 45° für die Bestimmung des Humusgehalts und weiterer Basisparameter beprobt und zu einer Mischprobe vereinigt.

### **b) Intensivprogramm:**

- ▶ Ermittlung der Orientierungsbohrung mittels GPS; ab 2010 Unterflurmarken
- ▶ Pürckhauer- bzw. Peilstangenbohrung bis max. 2 m mit bodenkundlicher Substratansprache, dabei besondere Sorgfalt bis 60 cm
- ▶ 8 Beprobungspunkte im Radius von 10 m um Orientierungspunkt im Winkelabstand von je 45° für die Bestimmung des Humusgehalts und weiterer Basisparameter
- ▶ Beprobung des Ap-Horizonts mit 26 mm-Bohrer und Vereinigung der 8 Proben
- ▶ danach 2. Beprobung in denselben Bohrlöchern Ap-Untergrenze bis 60 cm
- ▶ an den vier Satellitenpunkten 0°, 90°, 180° und 270° Entnahme von Proben mit dem Folienprobennehmer für die Bestimmung von Grobbodengehalt und Trockenrohddichte sowohl des Ap-Horizonts als auch des Unterbodens

**Abbildung 26: Probenahmekonzept des Humusmonitoring NRW**



Quelle: LANUV NRW & GD NRW

#### **14 Entnahmetiefe(n)**

Ap-Horizont, Unterboden bis 60 cm

#### **15 Untersuchungsmethode(n)**

- ▶ Grobbodengehalt-/Trockenrohichte-Probe mittels Folienprobenahme
- ▶ Probenvorbehandlung DIN ISO 11464
- ▶ pH (CaCl<sub>2</sub>) nach HFA 3.1.1.6
- ▶ pH (H<sub>2</sub>O) nach HFA 3.1.1.1
- ▶ CAL-P, K, Mg VDLUFA-Methodenbuch A 6.2.1 und A 6.2.4
- ▶ TC DIN ISO 10694
- ▶ TN DIN ISO 13878
- ▶ Carbonat und Calciumcarbonat nach HFA D31.3.1.4
- ▶ TOC DIN ISO 10694
- ▶ Humus berechnet aus TOC\*1,72
- ▶ C/N-Verhältnis berechnet aus TOC und TN, AKE HFA A3.2.1.1, AKP HFA 3.2.1.2
- ▶ Korngrößenverteilung angelehnt an DIN ISO 11277 bzw. HFA A2.5
- ▶ Königswasseraufschluss DIN EN ISO 13346

- ▶ Metallanalysen ICP-OES DIN EN 38406-22:1988-03, ICP-MS DIN EN 38406-29:1999-05, Hg CVAAS (FIMS) DIN 38406-12:1980-07
- ▶ POM-Analytik in Anlehnung an Christensen (1992) und Amelung und Zech (1999)

## 16 Untersuchungshäufigkeit

**a) Extensivprogramm:** einmalig; Wiederholung ggf. nach 15 Jahren

**b) Intensivprogramm:** jährlich mit unterschiedlichem Untersuchungsumfang, teilweise alle drei Jahre

## 17 Verantwortliche Institutionen

Urheber und Projektleitung: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung: (*Probenahme Intensiv- und Extensivprogramm, Analytik Intensivprogramm*)  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung: (*Humusbilanz, Bewirtschaftungsdaten*)  
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Universität Bonn - INRES-Bodenwissenschaften

Bearbeitung: (*Humusfraktionierung, MIR-Spektren*)  
Universität Bonn - INRES-Bodenwissenschaften

Bearbeitung: (*Humusmodellierung*)  
Forschungszentrum Jülich GmbH - IBG-3, Dr. Michael Herbst

Bearbeitung: (*Analytik Extensivprogramm*)  
Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen

## 18 Arbeitsgruppen / Gremien

Das Projekt wird von einer Arbeitsgruppe begleitet, der die Projektbearbeiter/-innen, das LANUV und das MULNV angehören.

## 19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog

Die Datenverwaltung erfolgt in einer projektspezifischen Access-Datenbank.

## 20 Wichtige Quellen und Publikationen

- ▶ LANUV NRW – Klimafolgenmonitoring mit Boden-Indikatoren  
<https://www.lanuv.nrw.de/klima/klimawandel-in-nrw/klimafolgen-in-nrw/indikatoren-zu-den-klimafolgen>
- ▶ LANUV NRW – Klimawandel in NRW  
<https://www.lanuv.nrw.de/neu-klima/klimawandel-in-nrw/>
- ▶ MKULNV – Klimawandel und Boden  
[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz\\_nrw/klima/pdf/broschuere\\_klimawandel\\_boden.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz_nrw/klima/pdf/broschuere_klimawandel_boden.pdf)
- ▶ LANUV NRW (Hrsg.) (2010): Bestimmung von organischem Kohlenstoff und C-Pools (POM, BC) in Bodenproben des Intensiv- und Extensivprogramms (Humusmonitoring) mittels konventioneller Techniken und mittels MIRS-PLSR, bearb. von Wulf Amelung, Gerhard Welp.

- ▶ Bamminger, C. und Hädicke, A. und Welp, G. und Amelung, W. und Herbst, M. und Schilli, C. und Apel, B. und Heggemann, T. (2019): Ergebnisse aus 10 Jahren Humusmonitoring auf Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen. In: Jahrestagung der DBG/BGS Erd-Reich und Boden-Landschaften, 24. – 27. August 2019, Bern, Schweiz. [http://eprints.dbges.de/1834/1/Ta-gungsbeitrag\\_Bamminger\\_Humusmonitoring\\_NRW\\_final.pdf](http://eprints.dbges.de/1834/1/Ta-gungsbeitrag_Bamminger_Humusmonitoring_NRW_final.pdf)
- ▶ Herbst, M.; Welp, G.; Macdonald, A.; Jate, M.; Hädicke, A.; Scherer, H. et al. (2018): Correspondence of measured soil carbon fractions and RothC pools for equilibrium and non-equilibrium states. In: *Geoderma* 314, S. 37-46. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.047.
- ▶ Preger, A.C.; Welp, G.; Marquardt, U.; Koleczek, B.; Amelung, W. (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: Aktueller Status und zeitliche Entwicklung, Bonn.
- ▶ Riggers, Catharina; Poeplau, Christopher; Don, Axel; Bamminger, Chris; Höper, Heinrich; Dechow, René (2019): Multi-model ensemble improved the prediction of trends in soil organic carbon stocks in German croplands. In: *Geoderma* 345, S. 17–30. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.03.014.

## 21 Fachverantwortliche(r)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Dr. Chris Bamminger

E-Mail: [chris.bamminger@lanuv.nrw.de](mailto:chris.bamminger@lanuv.nrw.de)

Telefon: +49 (0)2361 305 1582

## 22 Datum des Steckbriefs

22.09.2020

## 23 Datenzugang

Die Daten können für Auswertungen beim Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen angefragt werden, Ansprechpartner: Dr. Chris Bamminger, E-Mail: [chris.bamminger@lanuv.nrw.de](mailto:chris.bamminger@lanuv.nrw.de). Es wird ein Nutzungsvertrag geschlossen. Für Veröffentlichungen dürfen die Ergebnisse nur anonymisiert unter Nennung der Quelle verwendet werden (vgl. Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen).

## **F.6 Steckbrief Biologisches Messnetz/Medienübergreifende Umweltbeobachtung LUBW**

### **1 Kurzbeschreibung**

In der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung werden u. a. Wirkungen von Klimaveränderungen, Anreicherung chemischer Stoffe und Auswirkungen neuer Technologien auf die belebte Umwelt untersucht. Darüber hinaus erfolgt eine Analyse und Bewertung des Stoffhaushalts ausgewählter Umweltschadstoffe. Zentrales Element der Umweltbeobachtung ist das Biologische Messnetz (ehemaliger Name Ökologisches Wirkungskataster), in dem räumlich verzahnt eine Vielzahl ökologischer Parameter erfasst wird.

### **2 Zweck**

- ▶ Verknüpfung der Beobachtungen unterschiedlicher Untersuchungsmedien Boden, Wasser, Luft, Biota zur vorsorgenden Umweltbeobachtung
- ▶ Erkennen kausaler Wirkungsbeziehungen und funktioneller Änderungen
- ▶ Bereitstellung von Hintergrundwerten
- ▶ Evaluation getroffener Maßnahmen

### **3 Nutzung/Anwendungsbereiche**

- ▶ Bereitstellung von Informationen für die Öffentlichkeit
- ▶ Politikberatung
- ▶ Frühwarnsystem und Erfolgskontrolle für Umweltschutz und Umweltpolitik
- ▶ interne Auswertungen zur Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen im Land
- ▶ Bereitstellung für andere Verwaltungseinheiten und Institutionen im Land sowie in nationalen und internationalen Netzwerken und auf Anfrage
- ▶ Grundlage für Konzeptionen für umweltpolitische Programme und Rechtsetzungen sowie Vollzugshilfen des Umweltministeriums

### **4 Anwender der Ergebnisse**

- ▶ Bundes- und Landesinstitutionen, Politik
- ▶ nationale und internationale (Forschungs-)Netzwerke

### **5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen**

- ▶ Daten auf Anfrage
- ▶ Nutzungsvereinbarung zu unterzeichnen; angemessene Zitation der Daten und Bereitstellung der Ergebnisse/Produkte nach Nutzung

### **6 Räumliche Ausdehnung**

Baden-Württemberg

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

-

## 8 Zeitbezug

seit 1986 (je nach Datenreihe auch später)

## 9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

ursprünglich 60 Waldflächen und 14 Grünlandflächen; aktuell 21 Waldflächen und 25 Grünlandflächen

Im Grünland werden einige der genannten Parameter nicht erfasst.

## 10 Verteilung der Untersuchungsstandorte

Die Standorte decken die größeren Naturräume des Landes gut ab. Das Grünland ist extensiv genutztes, artenreiches Grünland eher trockener Ausprägung in Naturschutzgebieten.

## 11 Parameter

Bodenbezogene Messgrößen:

- ▶ Grobbodenanteil
- ▶ Trockenrohdichte
- ▶ Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalt
- ▶ Carbonatgehalt
- ▶ Artenzahl/Individuenzahl Collembola
- ▶ Artenzahl/Individuenzahl/Biomasse Lumbricidae

Darüber hinaus erhobene Messgrößen:

- ▶ einmalige Detailuntersuchung aus 1994: sehr genaue Bodenansprache mit vielen weiteren erfassten physikalischen und chemischen Bodenparametern
- ▶ regelmäßige chemische Analyse der Regenwürmer (vornehmlich *Lumbricus rubellus*) auf Nährstoffe und Umweltgifte und parallele Untersuchungen der Buchenblätter und der Krautschicht
- ▶ Monitoring (ca. alle 4 Jahre) der Vegetation und der Flechten an Baumstämmen; Einzeluntersuchungen anderer Tiergruppen mit Barberfallen und Eklektoren sowie von Gastropoda im Oberboden in den 1990er-Jahren
- ▶ Wetteraufzeichnungen inklusive Bodentemperatur und teils Bodenfeuchte mit zeitlichen Unterbrechungen an den Waldstandorten

## 12 Untersuchungsmedium(en)

Boden, Wasser, Luft, Biota

### **13 Probenahmemethode(n)**

diverse, je nach Medium und Parameter

### **14 Entnahmetiefe(n)**

variiert je nach Parameter., meist Oberboden und Humusauflage; einzelne Detailbodenansprache auch im kompletten Profil

### **15 Untersuchungsmethode(n)**

Die Medienübergreifende Umweltbeobachtung Baden-Württemberg bedient sich biologischer und chemisch-physikalischer Methoden, um Veränderungen der Umwelt zu erkennen und zu bewerten. Neben feldökologischen Methoden im Freiland, wie die Aufnahme von Pflanzen- und Tiergesellschaften, kommen im Labor chemische, ökotoxikologische, mikrobiologische und molekularbiologische Verfahren zur Anwendung. Die angewendeten Methoden sind in einem Bericht dokumentiert, der Interessierten auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden kann.

Folgende Methoden finden zur Untersuchung bodenbiologischer und bodenchemischer Parameter Anwendung:

- ▶ Collembola: Extraktion
- ▶ Lumbricidae: Elektrofing nach Thielemann (1986)
- ▶ Gesamtkohlenstoffgehalt: Elementaranalyse
- ▶ Gesamtstickstoffgehalt: in Anlehnung an DIN EN 25663, verändert nach Devarda (VDLUFA MB2.1-3.5.2.1)
- ▶ Carbonatgehalt: Karbonatbombe (manometrisch nach VDLUFA, A 5.3.2)
- ▶ Trockenrohddichte: DIN 19683
- ▶ Grobbodenanteil: Siebung quantitativ

### **16 Untersuchungshäufigkeit**

- ▶ ca. alle 4 Jahre, z. T. jährlich
- ▶ Collembola: im Wald ca. alle 4 Jahre, im Grünland unregelmäßiger
- ▶ Lumbricidae: in den 1990er-Jahren und seit 2011 meist jährlich
- ▶ Bodenchemische Parameter: z. T. alle 4 Jahre bzw. unregelmäßig, kürzere Intervalle in Oberboden und Humusauflage

### **17 Verantwortliche Institutionen**

LUBW – Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg Karlsruhe, Referat 23, Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel

### **18 Arbeitsgruppen / Gremien**

-

### **19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog**

MS Excel

## 20 Wichtige Quellen und Publikationen

- ▶ Signale aus der Natur (LUBW 2013):

<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/206714/LUBW+Signale+aus+der+Natur/0e4e5ed9-7e9e-443f-b33f-5fcd7d2c978c>

## 21 Fachverantwortliche(r)

LUBW – Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg Karlsruhe, Referat 23, Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel

Dr. Constanze Buhk

E-Mail: [constanze.Buhl@lubw.bwl.de](mailto:constanze.Buhl@lubw.bwl.de)

Telefon: +49 (0)721 5600 1222

## 22 Datum der Erstellung des Steckbriefs

22.09.2020

## 23 Datenzugang

Auf Anfrage im Rahmen von Nutzungsverträgen.

## F.7 Steckbrief Humusmonitoring Bayern

### 1 Kurzbeschreibung

Im Jahr 2001 hat das Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) damit begonnen, eine sogenannte Humusdatenbank für Bayern zu erstellen. Zurzeit enthält sie Daten (Humuskennwerte, Textur, Bewirtschaftung, Klima) von 347 Ackerschlägen, die für Bayern repräsentativ sind. Basierend auf den Daten der ersten Probenahme-Serie (2001 bis 2008) wurden standorttypische Spannweiten für Humusgehalte (organischer Kohlenstoff, Gesamtstickstoff) und Humusqualität (Verhältnis organischer Kohlenstoff: Gesamtstickstoff) von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von Bodenart und Klima bestimmt. Damit steht für Landwirte und Berater ein Instrument zur Verfügung, mit dem man die Bewertung von Humuskennwerten vornehmen und schließlich die Humusversorgung von Ackerböden optimieren kann. Zudem ermöglicht die Humusdatenbank mit Abschluss der ersten Wiederholungsbeprobung im Zeitraum 2011 bis 2018 ein Monitoring von Humusveränderungen.

### 2 Zweck

- ▶ Ermittlung standorttypischer Humusgehalte
- ▶ Überwachung von Veränderungen der Humusgehalte auf Ackerflächen

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Bodenschutz
- ▶ Landwirtschaft (Beratung)

### 4 Anwender der Ergebnisse

- ▶ Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- ▶ Landwirte
- ▶ universitäre und sonstige Forschungseinrichtungen

### 5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen

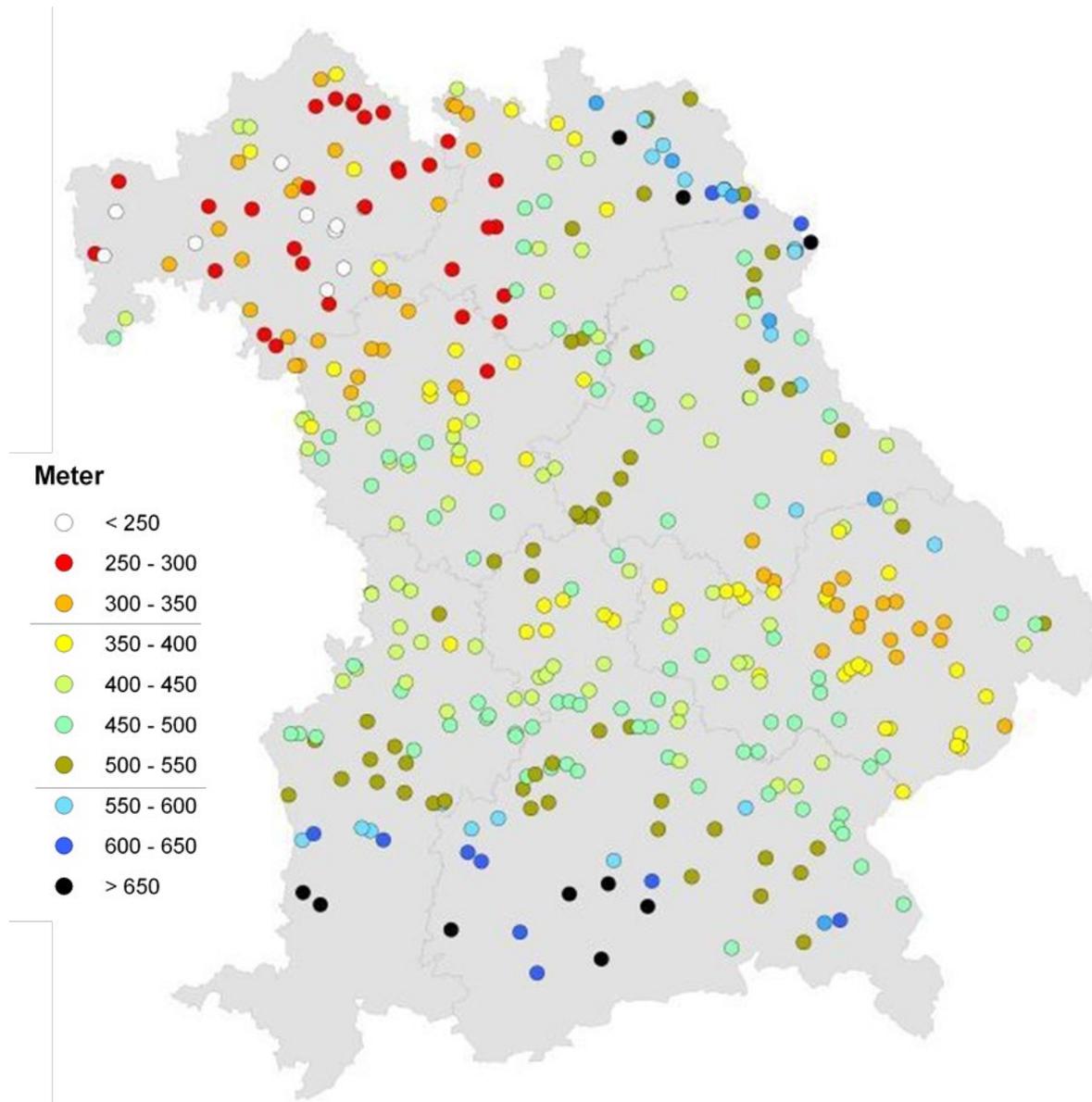
Für Auswertungen werden die Daten zur Verfügung gestellt. Es wird dazu ein Nutzungsvertrag geschlossen. Für Veröffentlichungen dürfen die Ergebnisse nur anonymisiert verwendet werden.

### 6 Räumliche Ausdehnung

Bayern

## 7 Karte der Untersuchungsstandorte

Abbildung 27: Untersuchungsstandorte Humusmonitoring Bayern

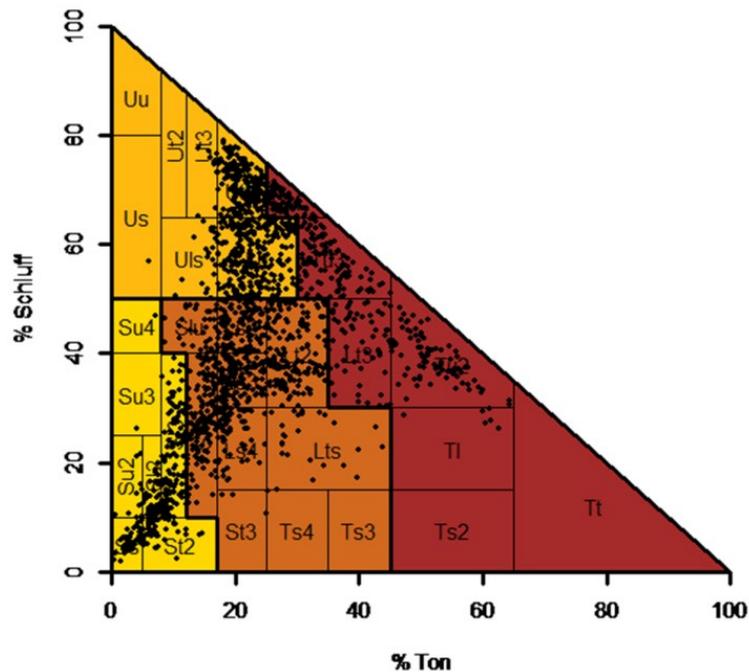


Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

## 8 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

Das Humusmonitoring-Programm in Bayern umfasst 347 Ackerflächen, die alle Bodenarten-gruppen in Bayern abdecken (siehe Abbildung 27). Sie erstrecken sich nahezu über das gesamte Bundesland und decken entlang ihres Nord-Süd-Verlaufs ein breites Höhenspektrum ab.

**Abbildung 28: Bodenartengruppen der Untersuchungsstandorte**



### 9 Verteilung der Untersuchungsstandorte

Die Verteilung der Untersuchungsstandorte in den Regierungsbezirken Bayerns erfolgte unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung (gute fachliche Praxis), der Bodenart und der Einwilligung der Landwirte.

### 10 Zeitbezug

seit 2001, fortlaufend im 10 Jahres-Turnus (1. Probenahmeserie 2001-2008, 2. Probenahmeserie 2011-2018, 3. Probenahmeserie geplant für 2021-2028)

### 11 Parameter

- ▶ Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff, Organischer Kohlenstoff-Gehalt
- ▶ Carbonat
- ▶ C/N-Verhältnis
- ▶ pH-Wert in CaCl<sub>2</sub>
- ▶ Textur (einmalig)
- ▶ Bewirtschaftungsdaten (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung, betriebsspezifische Informationen, jährlich)
- ▶ Standortdaten (Bodentyp, Meereshöhe, Hangneigung, Exposition, Klimadaten)

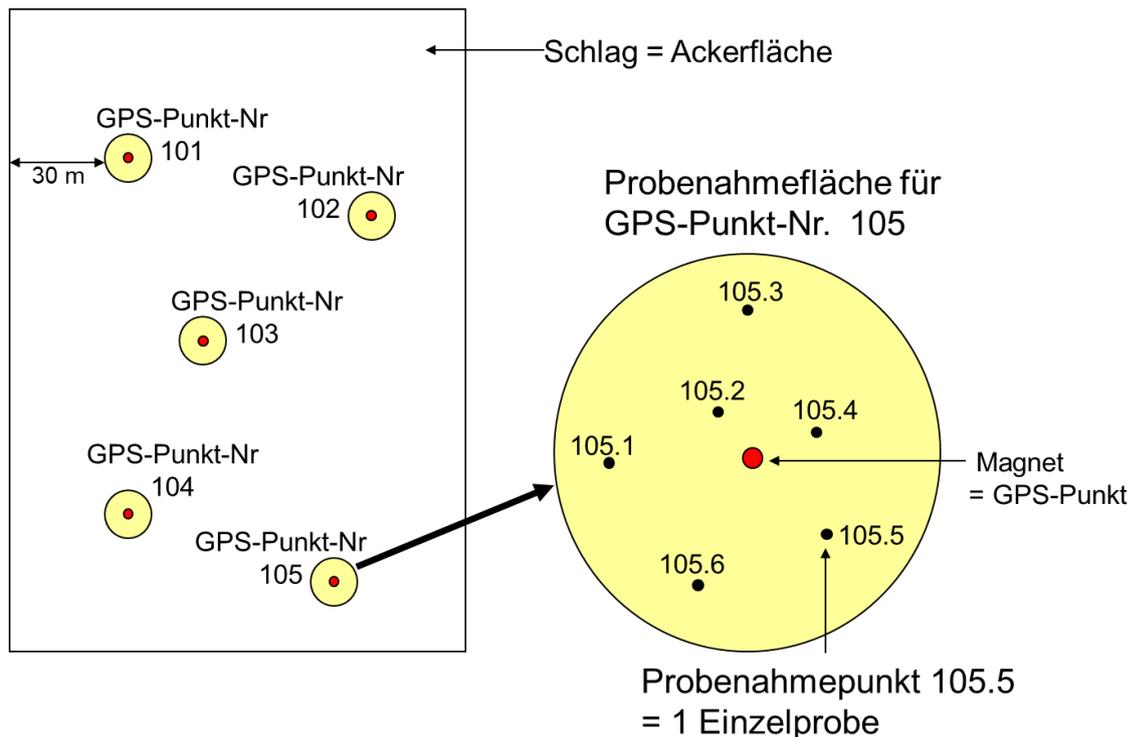
### 12 Untersuchungsmedium(en)

Boden-Festphase

### 13 Probenahmemethode(n)

**Das Probenahmekonzept ist in Abbildung 29 dargestellt.** Für die Probenahme einer Untersuchungsfläche (Ackerschlag) werden fünf zufällig ausgewählte kreisförmige Teilflächen mit einem Radius von 1,5 m beprobt. Innerhalb jeder Teilfläche werden sechs unabhängige Mischproben aus mehreren Einstichen in einer Tiefe von 0 bis 15 cm gezogen. Insgesamt ist jede Untersuchungsfläche mit 30 Einzelproben repräsentiert. Der Mittelpunkt der kreisförmigen Teilflächen kann bei Wiederholungsbeprobungen anhand eines vergrabenen Magneten mit einem Magnet-suchgerät genau lokalisiert werden.

**Abbildung 29: Probenahmekonzept Humusmonitoring Bayern**



### 14 Entnahmetiefe(n)

0 bis 15 cm

### 15 Untersuchungsmethode(n)

- ▶ Probenvorbereitung DIN ISO 11464
- ▶ pH (CaCl<sub>2</sub>) nach HFA 3.1.1.6
- ▶ Ct DIN ISO 10694
- ▶ Nt DIN ISO 13878
- ▶ Carbonat nach HFA D18,-3,-3,-3,-3,-3;
- ▶ C<sub>org</sub> berechnet nach DIN ISO 10694,
- ▶ C/N-Verhältnis berechnet aus C<sub>org</sub> und Nt

- ▶ Korngrößenverteilung angelehnt an DIN ISO 11277

## **16 Untersuchungshäufigkeit**

### **10-jähriger Turnus**

## **17 Verantwortliche Institutionen**

Urheber, Projektleitung, Analytik: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Arbeitsgruppe Humushaushalt und Umwelt-Mikrobiologie (PD Dr. Martin Wiesmeier)

Probenahme: Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF)

## **18 Arbeitsgruppen / Gremien**

keine

## **19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog**

Die Datenverwaltung erfolgt in einer projektspezifischen Access-Datenbank.

## **20 Wichtige Quellen und Publikationen**

- ▶ Ergebnisse des Humusmonitorings in Bayern: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031172/index.php>

## **21 Fachverantwortliche(r)**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Arbeitsgruppe Humushaushalt und Umwelt-Mikrobiologie

PD Dr. Martin Wiesmeier

E-Mail: martin.wiesmeier@lfl.bayern.de

Telefon: 08161/713705

## **22 Datum des Steckbriefs**

14.09.2020

## **23 Datenzugang**

Die Daten können für Auswertungen bei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft angefragt werden, Ansprechpartner: PD Dr. Martin Wiesmeier, E-Mail: martin.wiesmeier@lfl.bayern.de. Es wird ein Nutzungsvertrag geschlossen. Für Veröffentlichungen dürfen die Ergebnisse nur anonymisiert verwendet werden (vgl. Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen).

## F.8 Steckbrief Nationales Biodiversitäts-Monitoring in Agrarlandschaften

### 1 Kurzbeschreibung

Das Nationale Biodiversitäts-Monitoring in Agrarlandschaften ist derzeit noch im Aufbau (Stand Nov. 2019). Das Monitoring startet 2019 mit Machbarkeitsstudien zur Entwicklung innovativer Indikatorensysteme und einer Methodenentwicklung für die drei Teilbereiche: bundesweites generelles Trendmonitoring, vertiefendes Monitoring zu agrarräumlichen und regionalen Fragestellungen und Citizen Science-basiertes Monitoring. Das generelle Trendmonitoring ist für die nationale Ebene geplant und soll langfristig durchgeführt werden (> 20 Jahre). Der Teilbereich des vertiefenden Monitorings zu regionalen und agrarräumlichen Fragestellungen wird so lange weitergeführt, bis die spezifischen Projekte daraus abgeschlossen sind. Das Citizen Science-basierte Monitoring dient als Ergänzung der anderen beiden Bereiche. Es erzeugt vermutlich keine repräsentativen Ergebnisse, ermöglicht in Kombination mit den anderen Teilbereichen jedoch eine Bereicherung. Landwirte, Verbände und interessierte Bürger können dabei helfen, die Daten zu erheben. Das breit angelegte Monitoring wird ergänzend zu bestehenden naturschutzfachlichen Monitoringansätzen konzipiert und dynamisch entwickelt, sodass neue Forschungserkenntnisse berücksichtigt werden können. Ziel des Monitorings ist es, eine national umfassende Datengrundlage zu schaffen, um den differenzierten Zustand und die Entwicklung der Biodiversität in Agrarlandschaften beurteilen zu können.

### 2 Zweck

- ▶ Ergänzung bereits bestehender, punktueller Monitoringprogramme
- ▶ Schaffung einer repräsentativen Datengrundlage, Anschlussfähigkeit an laufende nationale und internationale Erhebungen
- ▶ Identifizierung differenzierter Trends und deren Ursachenermittlung
- ▶ Entwicklung neuer Instrumente, mit denen sich die Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen verbessern lässt.

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Forschung, Beratung für Landwirtschaft und Politik

### 4 Anwender der Ergebnisse

- ▶ BMEL, Wissenschaft und Forschung, Berater

### 5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen

-

### 6 Räumliche Ausdehnung

Bundesrepublik Deutschland

### 7 Karte der Untersuchungsstandorte

-

### 8 Zeitbezug

2019 bis mind. 2039 (geplant)

## 9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte

-

## 10 Verteilung der Untersuchungsstandorte

deutschlandweit, repräsentativ in Agrarlandschaften (in Aufbau)

zwei Ansätze:

- ▶ Indikator für die gesamte Agrarfläche Deutschlands erzeugen, begrenzte regionale Differenzierung
- ▶ flächenscharfe Informationen auf Basis bundesweit repräsentativer Stichprobenflächen

## 11 Parameter

z. B. zu Landnutzungswandel, Landschaftselementen, Fruchtfolgen, Nutzungsintensität im Grünland, Wasserversorgung und einzelnen Organismengruppen

Ackerflächen, Nutzungsintensität, Landschaftsfaktoren, die Boden-Wind-Erosion beeinflussen

## 12 Untersuchungsmedium(en)

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Erforschung der Abundanz und Vielfalt von Bakterien, Archaeen, Pilzen und Protisten.

Das Julius-Kühn-Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz in Berlin plant ein Pilotmonitoring zu Regenwürmern in Bezug auf Boden-Textur und Bodenbearbeitung.

## 13 Probenahmemethode(n)

Für die molekularen Methoden werden Bodenproben von Ackerflächen aus spezifischen Regionen Deutschlands ausgewählt und entnommen, instruiert durch Auswertung der Ergebnisse des nationalen, landwirtschaftlichen Bodenmonitorings.

## 14 Entnahmetiefe(n)

0 bis 25 cm Tiefe (Ap-Horizont)

## 15 Untersuchungsmethode(n)

Schwerpunkt: Boden-DANN-Untersuchungen und Bioinformatik

zur Erfassung der physiologischen Aktivität: Kohlenstoffnutzungseffizienzen mit Hilfe von stabilen Isotopenmessungen

## 16 Untersuchungshäufigkeit

unterschiedlich, abhängig vom Standort:

intensiv (mehrfach jährlich) oder einmal jährlich oder einmal im Zeitraum von drei Jahren

## 17 Verantwortliche Institutionen

Auftraggeber: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Koordination: Thünen-Institut für Biodiversität

Bearbeitung:

- ▶ Thünen-Institut für Biodiversität
- ▶ Julius-Kühn-Institut
- ▶ Thünen-Institut für Agrartechnologie
- ▶ Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
- ▶ Thünen-Institut für Ländliche Räume
- ▶ Informations- und Koordinationszentrum für biologische Vielfalt der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

### **18 Arbeitsgruppen/Gremien**

Verknüpfung mit der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft geplant

Monitoringvorhaben komplementär zu bereits existierenden Programmen, Datenaustausch mit anderen Akteuren angestrebt

### **19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog**

-

### **20 Wichtige Quellen und Publikationen**

- ▶ Homepage zum landwirtschaftlichen Monitoring: <https://www.agrarmonitoring-monvia.de/>
- ▶ Dauber, J.; Klimek, S.; Schmidt, T.G. (2016): Konzept für ein Biodiversitätsmonitoring Landwirtschaft in Deutschland. Thünen Working Paper 58. Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Hrsg.), Braunschweig 2016; [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/Thuenen-WorkingPaper\\_58.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/Thuenen-WorkingPaper_58.pdf)
- ▶ AG Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften: <https://www.thuenen.de/de/bd/aktuelles-und-service/news/detail/News/nationales-biodiversitaets-monitoring-in-agrarlandschaften-gestartet/>
- ▶ Nationales Biodiversitäts-Monitoring in Agrarlandschaften gestartet (03.04.2019): <https://www.thuenen.de/de/bd/arbeitsbereiche/monitoring/monitoring-der-biologischen-vielfalt-in-agrarlandschaften/>

### **21 Fachverantwortliche(r)**

Prof. Dr. Jens Dauber, Prof. Dr. Stefan Schrader, Prof. Dr. Christoph Tebbe,  
Thünen-Institut für Biodiversität

### **22 Datum der Erstellung des Steckbriefs**

14.11.2019

### **23 Datenzugang**

-

## F.9 Steckbrief Bundesweites Moorbodenmonitoring unter Wald

### 1 Kurzbeschreibung

In Deutschland nehmen Moorböden circa 4 % der Bundesfläche ein, verursachen aber etwa 45 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq Treibhausgasemissionen. Der Moorbodenschutz kann demzufolge einen großen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Neben naturnahen Moorböden werden auch alle Böden, die reich an organischer Substanz sind, entsprechend dem IPCC betrachtet, um die Gesamtheit der organischen Böden zu erfassen. Mithilfe von repräsentativen Standorten wird ein bundesweit einheitliches Moorbodenmonitoring unter Wald aufgebaut, um den Zustand organischer Böden in Deutschland fortlaufend zu ermitteln. Hieraus werden Handlungsanweisungen für eine klimaschonende Nutzung oder Revitalisierung dieser Böden gewonnen sowie die Emissionsfaktoren für die Klimaberichterstattung an die Vereinten Nationen (UNFCCC) verbessert. Die Standortauswahl erfolgt in enger Kooperation mit den Ländern.

### 2 Zweck

Ziele:

- ▶ Verbesserung der THG-Berichterstattung für organische Böden unter Wald
- ▶ Ableitung von Maßnahmen für organische Böden unter Wald (Revitalisierung oder Erhalt des Bestandes)

Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

- ▶ Wieviel C speichert der Bestand im Vergleich zum Moorboden?
- ▶ Wie entwickelt sich der C-Speicher im Boden, Bestand, Wurzel, Totholz und Auflage?
- ▶ Welche Mächtigkeit hat die verbleibende Torfschicht bei entwässerten Mooren und Anmooren?
- ▶ Welche Größen und Maßnahmen steuern die THG-Emissionen?
- ▶ Wie ist die THG-Gesamtbilanz für die einzelnen Typen von organischen Böden und den dazugehörigen Beständen?

### 3 Nutzung/Anwendungsbereiche

- ▶ Verwendung der Daten für die nationale Treibhausgasberichterstattung
- ▶ Angaben zur C-Vorräten und C-Emissionen bzw. C-Speicherraten in verschiedenen Moortypen Deutschlands und deren Veränderungen
- ▶ Handlungsanweisungen zur Revitalisierung von organischen Böden: Wo ist eine Revitalisierung sinnvoll, wo eine teilweise Revitalisierung (teilweise Anhebung des Wasserstands) und an welchen Standorten muss auf eine Revitalisierung verzichtet werden?
- ▶ Aussagen über den aktuellen Zustand sowie die langfristige Entwicklung der organischen Böden

### 4 Anwender der Ergebnisse

- ▶ Arbeitsgruppen der IPCC-Berichterstattung

- ▶ Forstbehörden von Bund und Ländern
- ▶ Universitäten und Forschungseinrichtungen
- ▶ interessierte Öffentlichkeit

#### **5 Anwendungs-, Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen**

- ▶ Die im Rahmen des Projekts erhobenen Daten sind nach Abschluss des Projekts in Form des Projektberichts verfügbar.
- ▶ Genaue Koordinaten der Standorte werden nicht zur Verfügung gestellt.
- ▶ Die von den Ländern bereitgestellten Grunddaten zu den Monitoringstandorten sind Eigentum der Länder und können nur nach Absprache mit den Ländern bereitgestellt werden.

#### **6 Räumliche Ausdehnung**

Bundesrepublik Deutschland

#### **7 Karte der Untersuchungsstandorte**

Die Untersuchungsstandorte sind noch nicht final festgelegt.

#### **8 Zeitbezug**

Etablierungszeitraum (Pilotphase) 01/2021 bis 05/2025

#### **9 Anzahl/Dichte der Untersuchungsstandorte**

2 Intensiv-Flächen, 8 Referenzflächen, 50 Standard-Flächen

#### **10 Verteilung der Untersuchungsstandorte**

Zurzeit werden gemeinsam mit den Landesforsten geeignete Punkte festgelegt. Diese werden zunächst auf ihre Eignung hin überprüft. Anschließend werden die finalen Standorte festgelegt. Die beiden Intensivstandorte befinden sich im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte sowie im Erzgebirge. Je vier Referenzflächen befinden sich im Umkreis einer Intensiv-Fläche. 50 Standardflächen werden im Laufe der Projektzeit bis Mitte 2025 errichtet.

#### **11 Parameter**

**Standard-Flächen:** Geländehöhenänderung, Grund- bzw. Moorwasserspiegel, Torfmächtigkeit, vegetations- und bodenkundliche Kartierung, C-Speicher Vegetation (oberirdisch, Wurzel, Totholz), Bodenphysik: hydraulische Leitfähigkeit, Wassergehalt, Trockenrohdichte, Lagerungsdichte und Porosität, Bodenchemie: C, N, P, K und pH-Wert

**Intensiv-Flächen:** zusätzlich zu den Parametern der Standard-Flächen kontinuierliche Analyse der Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) des Moorbodens sowie der Bodentemperatur, Bodenfeuchte, einfallende und reflektierte Strahlung, photosynthetisch aktive Strahlung sowie der Wetterparameter

**Referenz-Flächen:** Parameter wie Intensiv-Flächen, Analyse der Treibhausgasemissionen erfolgt jedoch nur im 14-tägigen Rhythmus.

#### **12 Untersuchungsmedium(en)**

Boden, Torf, Vegetation und Wasser

### **13 Probenahmemethode(n)**

Im Rahmen der Pilotphase werden verschiedene Probenahmemethoden getestet und am Ende des Projekts in einem Geländeprotokoll veröffentlicht. Hierbei werden Methoden aus der Arbeitsanleitung der BZE-Wald III berücksichtigt.

### **14 Entnahmetiefe(n)**

Die Entnahme von Bodenproben erfolgt tiefenstufenbezogen bis zum Beginn des Mineralbodens.

### **15 Untersuchungsmethode(n)**

Im Rahmen der Pilotphase werden verschiedene Methoden getestet. Für die Fortführung des Monitorings werden mit dem Projektbericht auch die zu verwendenden Methoden veröffentlicht. Hierbei werden Methoden aus der Arbeitsanleitung der BZE-Wald III berücksichtigt.

### **16 Untersuchungshäufigkeit**

Aktuell befindet sich das Moorbodenmonitoring in der Pilotphase. In diesem Zeitraum werden die boden- und vegetationskundlichen Kartierungen sowie die Bodenprobenahme einmalig durchgeführt. Die Ermittlung der Geländehöhenänderung und des Grundwasser-/Moorwasserstandes erfolgt nach Einrichtung des Standortes jährlich bzw. kontinuierlich.

### **17 Verantwortliche Institutionen**

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz BMEL

Thünen-Institut für Waldökosysteme

### **18 Arbeitsgruppen/Gremien**

Bund-Länder-Ad-hoc-Arbeitsgruppe

### **19 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog**

-

### **20 Wichtige Quellen und Publikationen**

-

### **21 Fachverantwortliche(r)**

Thünen-Institut für Waldökosysteme

Dr. Cornelius Oertel

E-Mail: [cornelius.oertel@thuenen.de](mailto:cornelius.oertel@thuenen.de)

Telefon: +49 (0)3334 3820-300

Dr. Nicole Wellbrock

E-Mail: [nicole.wellbrock@thuenen.de](mailto:nicole.wellbrock@thuenen.de)

Telefon: +49 (0)3334 3820-304

### **22 Datum der Erstellung des Steckbriefs**

09.03.2021

### **23 Datenzugang**

-

## **F.10 Ergänzung zum Steckbrief Bodendauerbeobachtung (BDF)**

Die nachfolgenden Angaben basieren auf der länderübergreifenden Konzeption nach Barth et al. (2000) sowie Umfragen des Umweltbundesamtes von März 2009 und Juni 2017. Darüber hinaus wurden Angaben berücksichtigt, die die BDF-Betreiber 2019/2020 im Rahmen der Meldung von Flächen für den Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund gemacht haben (FKZ 3719 71 204 0). Wenn Felder nicht gefüllt sind, haben die betreibenden Institutionen keine ergänzenden Angaben über Barth et al. (2000) hinaus gemacht. Die nicht in der Tabelle aufgeführten Länderinstitutionen aus BW, HH und MV sowie die BY LWF haben zu keinem Parameter ergänzende Angaben mitgeteilt.

**Tabelle 21: Bodenphysikalische Parameter der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungshäufigkeit nach Barth et al. (2000)	Untersuchungshäufigkeit (wenn abweichend zu Barth et al. (2000), sonst keine Angabe) und ergänzende Angaben der Betreiberinstitutionen in den Ländern n.g. = Parameter wird nicht gemessen											
		BY LFU	BY LfL	BB	HE	NI FVA/NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Korngrößen (Schluff, Sand, Ton; z. T. gS, mS, fS, ffS, gU, mU, fU)	einmalig		zweimal nach neuer Messmethode 2016									bei jedem Messzyklus	
Dichte (Lagerungsdichte, Trockenrohdichte, Festsubstanzdichte)	einmalig	Trockenrohdichte alle 3-10 Jahre	Trockenrohdichte alle 5 Jahre		Trockenrohdichte alle 5-10 Jahre	Trockenrohdichte alle 10 Jahre		Trockenrohdichte alle 10 Jahre	Trockenrohdichte alle 3 Jahre		Trockenrohdichte einmalig	bei jedem Messzyklus	
pF-Wert (1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,2)	< 1 Tag		nur 1,8 und 4,2 bei Ersterhebung		einmalig	einmalig	kontinuierlich (4 Flächen)	5-minütlich		z. T. pF-Kurve	1,8 und 4,2 einmalig	bei jedem Messzyklus	einmalig; Minütlich (3 Flächen)
Wasserleitfähigkeit kf	einmalig		n.g.						Alle 6 Jahre	n.g.		bei jedem Messzyklus	
Wasserleitfähigkeit ku	einmalig		n.g.	n.g.						n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Wassergehalt (vol./grav.)	≤ 1 Woche	halbstündlich (3 Flächen)	n.g.	n.g.	kontinuierlich auf I-BDF, an entnommenen Proben auf den B-BDF	stündlich	kontinuierlich (3 Flächen)	5-minütlich		n.g.	stündlich (4 Flächen)	bei jedem Messzyklus	minütlich (3 Flächen)

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungshäufigkeit nach Barth et al. (2000)	Untersuchungshäufigkeit (wenn abweichend zu Barth et al. (2000), sonst keine Angabe) und ergänzende Angaben der Betreiberinstitutionen in den Ländern n.g. = Parameter wird nicht gemessen											
		BY LFU	BY LfL	BB	HE	NI FVA/NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Eindringwiderstand	1 bis 5 Jahre		n.g.	n.g.	n.g.	10 Jahre				n.g.	n.g.		n.g.
Aggregatstabilität	1 bis 5 Jahre		1x bei Ersterhebung und aktuell bei 20 Acker-BFD	n.g.	n.g.	n.g.				n.g.	n.g.		n.g.
Temperatur	Parameter nicht angegeben	halbstündlich (3 Flächen)	n.g.	n.g.	n.g.	stündlich	n.g.	5-minütlich	n.g.	n.g.	stündlich (5 Flächen)	n.g.	minütlich (3 Flächen)
Gesamtporenvolumen	Parameter nicht angegeben		1x bei Ersterhebung	n.g.	einmalig	einmalig	n.g.	n.g.	Alle 6 Jahre	n.g.	einmalig	bei jedem Messzyklus	aus pf abgeleitet

**Tabelle 22: Bodenchemische Parameter (anorganisch) der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs- häufig- keit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA/ NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, KCl)	> 5 Jahre		CaCl <sub>2</sub> über Humusun- tersuchung alle 5 Jahre			10 Jahre	10 Jahre		alle 6-12 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	CaCl <sub>2</sub> alle 5 Jahre, in den Auen etwa 1- mal pro Jahr	alle 4 Jahre	
organischer Koh- lenstoffgehalt	> 5 Jahre	alle 3-10 Jahre	alle 5 Jahre	alle 2- 3 Jahre	alle 5-10 Jahre	10 Jahre/ 4 Jahre	jährlich (Humus- monito- ring)	10 Jahre	alle 3 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	alle 5 Jahre	jährlich (Humus- untersu- chung)	alle 5-10 Jahre
Gesamtkohlen- stoffgehalt	> 5 Jahre	alle 3-10 Jahre	alle 5 Jahre	alle 2- 3 Jahre	alle 5-10 Jahre	10 Jahre	10 Jahre	10 Jahre	alle 3 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt		jährlich (Humus- untersu- chung)	alle 5-10 Jahre
Gesamtstickstoff- gehalt	> 5 Jahre	alle 3-10 Jahre	alle 5 Jahre	alle 2- 3 Jahre	alle 5-10 Jahre	10 Jahre/ 4 Jahre	10 Jahre	10 Jahre	alle 3 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	alle 5 Jahre	jährlich (Humus- untersu- chung)	alle 5-10 Jahre
Carbonatgehalt	> 5 Jahre	alle 3-10 Jahre	alle 5 Jahre		alle 5-10 Jahre	10 Jahre/ 4 Jahre	n.g.	10 Jahre	alle 3 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	alle 5 Jahre	n.g.	alle 5-10 Jahre
KAKpot (Ca, Mg, Na, K, H-Wert)	> 5 Jahre		n.g.			einmalig	nach Meh- lich, alle 10 Jahre		alle 6-12 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	alle 5 Jahre	bei jedem Messzyk- lus	
KAKeff (Ca, Mg, Na, K, Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , H, Mn <sup>2+</sup> )	> 5 Jahre		n.g.			einmalig	nach Mei- wes, alle 10 Jahre		alle 6-12 Jahre	nach ca. 20 Jahren wie- derholt	alle 5 Jahre	n.g.	

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs- häufig- keit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA/ NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Gehalte: Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, Zn, As, Ca, Mg, Fe, K, Mn, P, S, V, Ti, Co, Sb, Na	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt		alle 10 Jahre		kein Na und Ti, dafür Al, Mo, Se, Ti, U	10 Jahre; kein Hg, As, V, Ti, Sb	10 Jahre, Spurenelemente Königswasser		alle 6-12 Jahre	Spurenelemente im Königswasser und Ammoniumnitratanzug	alle 5 Jahre	bei jedem Messzyklus	kein Ti, zusätzlich Co, Be, Mo, Sb, Se, Ti, U
Mobilisierbare Gehalte: As, Cu, Zn, Cl, Fe, Mn, Al, P, K, Mg, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , B, Mo	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt		n.g.	wird bis auf NO <sub>3</sub> und NH <sub>4</sub> gemessen	Bestimmungen im AN- und EDTA-Extrakt: Cl, Fe, Mn, P, K, Mg, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , B, Mo werden nicht bestimmt, stattdessen noch Cd, Cr, Ni, Pb, Ti (nur An-Extrakt)	10 Jahre; kein As, B	n.g.				alle 5 Jahre As, Cu, Zn, Cd, Pb	n.g.	
Radionuklide Cs <sup>134/137</sup>	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt		2004 beendet		K40, seit 1999 auch U238, Th232	10 Jahre	n.g.			n.g.	n.g.	einmalig	einmalig
Redoxpotenzial	> 5 Jahre		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Tonminerale	> 15 Jahre		n.g.	n.g.	einmalig auf einzelner BDF	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
K-Fixierung	Parameter nicht angegeben		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Radionuklide Sr <sup>90</sup>	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt		n.g.	n.g.	n.g.	10 Jahre				n.g.	n.g.	einmalig	n.g.

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs- häufig- keit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA/ NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
sonstige	-	3-jährliche Erfassung auf Schwer- punktflä- che (S- BDF)										4-jährliche Messung von P, K und Mg, jährlich: NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , S <sub>min</sub>	

**Tabelle 23: Bodenchemische Parameter (organisch) der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungshäufigkeit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Chlorpestizide: HCB, $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ -HCH, DDD, DDT, DDE	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	alle 10 Jahre		Nicht mehr $\delta$ -HCH	10 Jahre	n.g.			nach 20 Jahren HCB		alle 4-5 Jahre	
Chlorpestizide: Dieldrin, Aldrin, Endrin, Heptachlor	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	alle 10 Jahre	n.g.		10 Jahre	n.g.			n.g.		n.g.	
PCB 8, 20, 28, 35, 52, 101, 118, 138, 143, 153, 180	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	bisher einmalig in Serie			10 Jahre	n.g.			nach 20 Jahren PCB 28,52,101,118, 138, 153, 180		alle 4-5 Jahre	zusätzlich dl-PCB
Benzo(b)fluoranthen, Benzo(ghi)perylene, Benzo(k)fluoranthen, Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Chrysen, Dibenz(ah)anthracen, Fluoranthen, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	1996 und 2012			10 Jahre	n.g.			nach 20 Jahren Fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(ghi)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyren	n.g.	alle 4-5 Jahre, zusätzlich Benzo(a)anthracen und Benzo(a)pyren (=PAK16)	
PCDD (Dioxine)	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	bisher einmalig			10 Jahre	n.g.			n.g.		z. T. jährlich	
PCDF (Furane)	> 5 Jahre, bzw. ereignisbedingt	bisher nur Daten aus Ersterhebung	bisher einmalig		Seit 2009 auch dl-PCB	10 Jahre	n.g.			n.g.		z. T. jährlich	
Atrazin, Propazin, Terbutyl (Triazine)	> 5 Jahre	bisher nur Daten aus Ersterhebung	Nur Atrazin, bisher einmalig	Nur Terbutyl	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungshäufigkeit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Bisphenol A	Parameter nicht angegeben	bisher nur Daten aus Ersterhebung	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Phthalate (Dicyclohexylphthalat, Diethylphthalat, Dimethylphthalat, Dipropylphthalat)	Parameter nicht angegeben	bisher nur Daten aus Ersterhebung	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Nonylphenol	Parameter nicht angegeben	bisher nur Daten aus Ersterhebung	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.			n.g.	n.g.	n.g.	
sonstige	-	PFT seit 2010 auf einer Fläche alle 3 Jahre		Pendimethalin, Metazachlor, Metolachlor, Simazin, Terbutylazin; Isoproturon; Diurom; Metamitron; Glyphosat, AMPA									

**Tabelle 24: Bodenbiologische Parameter\* der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs-häufig- keit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA / NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH	
Biomasse	≥ 1 Jahr	n.g.	n.g.	eingestellt	n.g.	Mikrobielle Biomasse alle 4 Jahre (eingestellt)	Mikrobielle Biomasse alle 3 Jahre (eingestellt)	n.g.	Alle 3 Jahre	n.g.	n.g.	alle 4-5 Jahre	Mikrobielle Biomasse auf 12 Flächen (TLUG)	
Basalatmung	≥ 1 Jahr	n.g.	n.g.	eingestellt	n.g.	Alle 4 Jahre (eingestellt)	Alle 3 Jahre (eingestellt)	n.g.	Alle 3 Jahre	n.g.	n.g.	alle 4-5 Jahre	auf 12 Flächen (TLUG)	
Lumbriciden	> 5 Jahre	alle 3 Jahre (verm. Erhöhung auf alle 10 Jahre)	alle 8 Jahre, z. T. jährlich	5 Jahre (verm. Eingestellt)	n.g.	n.g.	Alle 3 Jahre (eingestellt)	n.g.	alle 6 Jahre	n.g.	n.g.	eingestellt	eingestellt (TLLLR)	
Kleinanneliden		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	Alle 3 Jahre (eingestellt)	n.g.	alle 6 Jahre	n.g.	n.g.	n.g.	eingestellt (TLLLR)	
N-Mineralisation	1 Jahr	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	
Zelluloseabbau		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	
Arginin-Ammonifikation		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	alle 3 Jahre	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Arylsulfatase-Aktivität		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	3 Jahre	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Beta-Glucosidase-Aktivität		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Katalase-Aktivität		n.g.	eingestellt	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	alle 4-5 Jahre	n.g.
Protease-Aktivität		Parameter nicht angegeben	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs-häufig- keit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA / NI LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Collembolen	< 1 bis 5 Jahre	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Nematoden		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Gamasinen		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Dehydrogenase- aktivität	Parameter nicht angege- ben	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	Alle 3 Jahre (verm. Ein- gestellt)	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
sonstiges	-		Vegetations- aufnahme alle 5 Jahre		Vegetationsauf- nahmen (1992, 1993, 2002) auf ei- ner I-BDF (Frank- furter Flughafen)	Vegetationsauf- nahme seit 1992 (Intensiv-BDF-F jährlich, ansons- ten 3-5-jährlich); bodenzoologische Untersuchungen seit 2019		Vegetationsauf- nahme alle 10 Jahre; bodenbi- ologische und - mikrobiologi- sche Untersu- chungen auf ei- ner I-BDF unre- gelmäßig				Vege- tati- ons- auf- nahme alle 4-6 Jahre	einmalige Bestim- mung von Enchyträen

\*) Baden-Württemberg und Mecklenburg-Vorpommern betreiben jeweils eine BDF, auf der Messaktivitäten zur Bodenbiologie stattfinden (BW: 2x/Jahr (seit 2007) Mikrobiologie, Collembolen, Lumbricide und Pflanzenaufnahmen, bisher einmalig an ca. 20 Wald-Messstellen in 2000; MV: Lumbricide; Hamburg 2-3 BDF: alle 10 Jahre Arginin-Ammonifikation, Biotoptyp, Basalatmung, Mikrobielle Biomasse, Lumbricidae, Enchytraeidae und Vegetationsaufnahme)

**Tabelle 25: Untersuchungsparameter Bodenwasser der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs- häufigkeit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA / LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
pH-Wert	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I- BDF	n.g.
Leitfähigkeit	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I- BDF	n.g.
Gehalte: Chlorid, Sulfat, o-Phosphat, Nitrat (NO <sub>3</sub> ), Nitrit (NO <sub>2</sub> )	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I- BDF	n.g.
Silikat, Ca, Mg, K, Na, Fe, Al, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Hg, Ba, B, Co, Mo, Se, Sr, Ti, U, V	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF	keine Mes- sung: Silikat, As, Hg, Ba, B, Mo, Se, Sr, Ti, U, V	n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.	zusätzlich Sb und Tl, keine Mes- sung: Silikat, Ti	auf forstlichen I- BDF; keine Mes- sung: Silikat, As, Hg, Ba, B, Mo, Se, Sr, Ti, U, V	n.g.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I-BDF	n.g.
Gesamt-N	kontinuierlich, Mischprobe über 2 bis 4 Wochen	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I-BDF	n.g.
DOC (C <sub>org</sub> )	kontinuierliche Mischprobe im 2- bis 4-Wochen- Rhythmus	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF		n.g.	kontinuierlich, Mischprobe über 1-3 Monate	n.g.	n.g.		auf forstlichen I-BDF	n.g.
Fluorid	Parameter nicht angegeben	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF	n.g.	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Carbonat	Parameter nicht angegeben	n.g.	n.g.	n.g.	nur I-BDF	n.g.	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

**Tabelle 26: Untersuchungsparameter Stoffeintrag durch Bewirtschaftung der Bodendauerbeobachtung**

Parameter (Quellen: UBA 2009, Barth et al. 2000)	Untersuchungs- häufigkeit nach Barth et al. (2000)	BY LfU	BY LfL	BB	HE	NI FVA / LW	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
Schwermetallgehalte Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	kontinuierlich	alle 10 Jahre		n.g.	n.g.	Literaturangaben und Untersuchungen von den Düngemitteln durch Landwirtschaft	jährlich	n.g.
Elementgehalte N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, Fe, Mn, S, V, Ti, As	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	kontinuierlich	alle 10 Jahre		n.g.	n.g.	Literaturangaben und Untersuchungen von den Düngemitteln durch Landwirtschaft	jährlich, kein Al, Fe, V, Ti	n.g.
Co, Mo, Se, B	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	kontinuierlich	n.g.		n.g.	n.g.	Literaturangaben und Untersuchungen von den Düngemitteln durch Landwirtschaft	jährlich, kein Co, Se; zusätzlich TI	n.g.
NH <sub>4</sub>	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	kontinuierlich	alle 10 Jahre		n.g.	n.g.	n.g.	jährlich	n.g.
Hg	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	kontinuierlich	alle 10 Jahre		n.g.	n.g.	n.g.	jährlich	n.g.
CKW	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	kontinuierlich	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Organische Spurenstoffe nach AbfklärV und BioAbf	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	kontinuierlich	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Cs <sup>134</sup> , Cs <sup>137</sup> , Sr <sup>90</sup>	zeitlich gestaffelte Stichproben	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Sb	Parameter nicht angegeben	n.g.	alle 7 Jahre	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Bemerkungen	-		Wirtschaftsdünger									mineral. und organ. Dünger	

### **F.11 Ergänzung zum Steckbrief Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (BonaRes)**

Die nachfolgenden Tabellen führen landwirtschaftliche Dauerfeldversuche auf, die zu den Themen organische Bodensubstanz und/oder Bodenbiologie forschen. Die Zusammenstellung basiert auf dem BonaRes-Portal ([https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV\\_de/](https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV_de/)) und der dazugehörigen Publikation von Grosse/Hierold (2019).

Verbreitete Parameter zum Thema organische Bodensubstanz (BonaRes: Kohlenstoffspeicher) sind u. a.  $C_{\text{total}}$  und  $C_{\text{org}}$ , Humusgehalt und -qualität sowie das C/N-Verhältnis.

Zum Thema Bodenbiologie (BonaRes: Habitat für Bodenleben) werden u. a. die Regenwurm-abundanz, -masse, mikrobielle Biomasse und Dehydrogenaseaktivität untersucht.

Die Biomasseproduktion ist ein weiterer Parameter, der häufig auf den Flächen der Dauerfeldversuche untersucht wird. Er wird meistens durch den Pflanzenertrag der Fläche quantifiziert und dient als Begleitgröße zum Thema „organische Bodensubstanz“.

**Tabelle 27: Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Kohlenstoffspeicherung und Habitats für Bodenleben**

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Dichtelbach (Hunsrück)	Bodenbearbeitungsversuch Dichtelbach	1999	Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz	Bodenbearbeitung (vier Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung vs. konventioneller Pflugfurche)	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Rohzuckergehalt; Boden: P, C <sub>org</sub> , CO <sub>2</sub> , LD, Wasserinfiltration, Regenwürmer, Mikroorganismen, N <sub>min</sub> , Grundnährstoffe, Nt, Ct etc.
Welschbillig (Eifel)	Bodenbearbeitungsversuch Welschbillig	1999	Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz	Bodenbearbeitung (vier Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung vs. konventioneller Pflugfurche)	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Rohzuckergehalt; Boden: P, C <sub>org</sub> , CO <sub>2</sub> , LD, Wasserinfiltration, Regenwürmer, Mikroorganismen, N <sub>min</sub> , Grundnährstoffe, Nt, Ct etc.
Wintersheim (Rheinhausen)	Bodenbearbeitungsversuch Wintersheim	1999	Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz	Bodenbearbeitung (vier Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung vs. konventioneller Pflugfurche)	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Rohzuckergehalt; Boden: P, C <sub>org</sub> , CO <sub>2</sub> , LD, Wasserinfiltration, Regenwürmer, Mikroorganismen, N <sub>min</sub> , Grundnährstoffe, Nt, Ct etc.
Bernburg-Strenzfeld	Bodenbearbeitungsversuch (Versuchsfeld Westerfeld)	1992	Hochschule Anhalt, Bernburg-Strenzfeld	Konventionelle vs. konservierende Bodenbearbeitung in zwei Intensitätsstufen	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, Ertragsstruktur, Qualität, P- und K-Gehalt; Boden: Wassergehalt, N <sub>min</sub> , Grundnährstoffe, pH-Wert, Kalk- und Humusgehalt, bodenphysikalische und bodenbiologische Parameter
Renningen	Versuch zur Bodenbearbeitung	1999	Universität Hohenheim	Einfluss von Stoppel- und Grundbodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkräuter und N-Dynamik	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, TM, Unkrautauftreten; Boden: N <sub>min</sub> , PK, C <sub>org</sub> , N <sub>org</sub> , Bodensamenvorrat, Regenwurmpopulation
Puch	Einfluss von Grundbodenbearbeitung	1992	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Grundbodenbearbeitung	Acker	Pflanze: Erträge; Boden: Aggregatstabilität, C <sub>org</sub> , P, K, Regenwürmer, Infiltration, Porenverteilung etc.

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Kleinhohenheim	Versuch zur Bodenbearbeitung	1998	Universität Hohenheim	Einfluss von Stoppel- und Grundbodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkräuter und Regenwurmpopulationen unter den Produktionsbedingungen des Ökologischen Landbaus	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Ertragskomponenten, Unkrautauflkommen; Boden: N <sub>min</sub> , PK, C <sub>org</sub> , N <sub>org</sub> , Bodensamenvorrat, Regenwurmpopulation
Kleinhohenheim	Gehölzhäckselapplikation	2001	Universität Hohenheim	Einsatz von Gehölzhäcksel als Mulch zur Unkrautregulierung in Ackerkulturen im Ökologischen Landbau	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Ertragskomponenten, Unkrautauflkommen; Boden: N <sub>min</sub> , PK, C <sub>org</sub> , N <sub>org</sub> , Bodensamenvorrat, Regenwurmpopulation
Hohenheim	Versuch 700 (Reduzierte Bodenbearbeitung)	2000	Universität Hohenheim	Möglichkeiten und Grenzen reduzierter Bodenbearbeitung in mitteleuropäischen Ackerbausystemen	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Ertrag, Ertragskomponenten, Unkrautauflkommen; Boden: N <sub>min</sub> , PK, C <sub>org</sub> , N <sub>org</sub> , Bodensamenvorrat, Regenwurmpopulation
Puch	Fruchtfolgen im Ökologischen Landbau	1997	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Düngung, Fruchtfolge	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Krankheiten, Schädlinge, Beikraut, Ertrag, TS, TKM etc.; Boden: N <sub>min</sub> , Humusgehalt und -qualität, mikrobiologische Parameter
Viehhausen	Fruchtfolgen im Ökologischen Landbau	1997	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Düngung, Fruchtfolge	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Krankheiten, Schädlinge, Beikraut, Ertrag, TS, TKM etc.; Boden: N <sub>min</sub> , Humusgehalt und -qualität, mikrobiologische Parameter

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Bingen-Büdesheim	Bodenbearbeitungsversuch am Galgenberg	1998	Technische Hochschule Bingen	Einfluss von pflugloser Bodenbearbeitung mit und ohne Gründüngung in einer Zuckerrüben-Getreidefruchtfolge auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte, sowie die Bodenstruktur, den Humusvorrat, die Nährstoffstratifikation im Boden, die Regenwurmpopulation und die Emission von Treibhausgasen	Acker	Pflanze: Kornertrag, bereinigter Zuckerertrag; Boden: bisher 2x: $C_{org}$ , Ct, Kalk, Nt, kf-Wert, dB, Grobporen, Mittelporen, CAL-P, CAL-K, Wassergehalt, pH, Regenwurmbundanz, -masse; 1 x ki-Wert, Lachgas, Methan, $N_{mik}$
Puch	Dauerversuch 'Auswirkung von Daueranbau'	1953	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Auswirkungen von Daueranbau mit unterschiedlichen Formen von Brache auf Bodenfruchtbarkeit, Krankheitsbefall und Ertrag	Acker	Boden: Aggregatstabilität, $C_{org}$ , Regenwürmer, Porenverteilung etc.
Puch	Verbesserte Dreifelderwirtschaft	1953	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Fruchtfolge, Bodenfruchtbarkeit	Acker	Boden: Aggregatstabilität, $C_{org}$ , Regenwürmer, Porenverteilung etc.
Puch	Getreide/Mais Fruchtfolge	1957	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Fruchtfolge	Acker	Boden: Aggregatstabilität, $C_{org}$ , Regenwürmer, Porenverteilung etc.

Quelle: BonaRes Zentrum für Bodenforschung. Karte der Dauerfeldversuche in Deutschland. [https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV\\_de/](https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV_de/), 21.2.2019

Grosse M. & Hierold W. (2019). Long-term Field Experiments in Germany (Version 1.0) [Data set]. <https://doi.org/10.20387/bonares-3tr6-mg8r>

**Tabelle 28: Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Kohlenstoffspeicherung**

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Bad Lauchstädt	Statischer Düngungsversuch V120	1902	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung, organische Bodensubstanz, Ertrag, C- und N-Bilanzen	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, pH-Wert, P, K
Bad Lauchstädt	Erweiterter Statischer Düngungsversuch V120a	1978	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung, Ertrag, Modellierung	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, pH-Wert, P, K
Bad Lauchstädt	Modellversuch Stalldungsteigerung	1983	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Extrem hohe Stallmistapplikation	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, labiler C und N, pH-Wert, N <sub>min</sub>
Bad Lauchstädt	Bracheversuch V505a	1988	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Langzeitwirkung verschiedener Bracheformen auf Bodeneigenschaften und Sukzessionsverlauf	Acker	Pflanze: Vegetationsaufnahme; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, pH-Wert, NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N
Berlin-Dahlem	Statischer Dauerversuch Bodennutzung (BDa_D3)	1923	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss unterlassener Kalkung, P-Düngung, flacher Pflugfurche, organischer Düngung und Fruchtfolge auf Bodeneigenschaften und Biomasseproduktion, Untersuchungen zu P-Nachlieferungspotenzial, Pufferung gegen Bodenversauerung und C-Speicherung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert
Berlin-Dahlem	Internationaler Organischer-Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (BDa_IOSDV)	1986	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss langjährig differenzierter organischer und mineralischer Stickstoffdüngung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturen im überregionalen Vergleich europäischer Ackerstandorte. Untersuchungen zu Biomasseproduktion, N-Bilanz und C-Speicherung im Boden.	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, N-Gehalt, weitere Nährstoffe; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, N <sub>min</sub>

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Bernburg-Strenzfeld	Anbausysteme-Vergleich (ursprünglich: Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme)	1993	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme, konventionell- ökologisch viehlos - ökologisch viehhaltend	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM, N, P, K, Mg, Qualität; Boden: N <sub>min</sub> , LD, Wasser (M%, V%, nFK), pH-Wert, P, K, Mg, Ct, CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub> , Nt, C/N-Verhältnis
Bernburg-Strenzfeld	Grundbodenbearbeitung und Distelbekämpfung, ökologisch viehlos (ursprünglich Grundbodenbearbeitung und Düngung, ökologisch viehlos)	1994	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Grundbodenbearbeitung und Distelbekämpfung in der Fruchtfolge, ökologisch viehlos	Acker	Pflanze: Felddaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, N, P, K und Mg, Qualität; Boden: N <sub>min</sub> , LD, Wasser (M%, V%, nFK), pH-Wert, P, K, Mg, Ct, CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub> , Nt, C/N-Verhältnis
Dülmen	Klassischer DFV (4b2, organische und mineralische Düngung)	1958	YARA GmbH & Co. KG, Dülmen	Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, TM, N, P, K; Boden: organische Bodensubstanz, Ct, Nt, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, pH-Wert, N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub>
Friemar	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1992	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Angerstein	Bodenbearbeitungsversuch Hohes Feld	1967	Georg-August-Universität Göttingen	Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Stickstoffernährung der Pflanzen und den Stickstoffumsatz im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: C <sub>org</sub> , K, P, Bodenstruktur
Göttingen	Garte-Süd-Bodenbearbeitung (Reinshof)	1970	Georg-August-Universität Göttingen	Vergleich der beiden Bodenbearbeitungssysteme "Lockerbodenwirtschaft" und "Festbodenmulchwirtschaft" über einen langen Zeitraum	Acker	Pflanze: Ertrag und Qualität; Boden: Feuchte, C <sub>org</sub> , Bodengefüge, biologische und chemische Eigenschaften, Wurzelverteilung, Verunkrautung

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Grombach (BW)	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1990	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Großbeeren	Kastenparzellenversuch Sandboden / Lehmbo-den / Tonboden	1972	Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren	Düngungsbedingte Bodenveränderungen von Böden dreier unterschiedlicher Herkünfte unter gleichem Klima und gleicher Bewirtschaftung	Gemüsebau	Pflanze: Ertrag, N, P, K, Mg; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert (in 0-20 cm)
Halle	Organische Düngung (Feld F)	1949	Martin-Luther-Universität Halle	Organische Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, NPK; Boden: Humusgehalt, C, N, pH-Wert, P, K
Lüttewitz	Bodenbearbeitungsversuch	1992	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Müncheberg	Dauerdüngungsversuch (V140)	1963	Leibniz Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.	Einfluss von N-Düngung und Stallmist auf Ertrag, N-Bilanzen und Bodeneigenschaften	Acker	Pflanze: Ertrag, TS, N, P, K, Mg; Boden: organische Substanz, Ct, Nt, pH-Wert, P, K, Mg
Speyer	Internationaler Organischer Stickstoffdüngungs-Versuch (IOSDV)	1983	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Einfluss von Standort und organischer Düngung bei steigenden Stickstoffgaben auf Ertragsbildung und Qualität von Früchten innerhalb einer Fruchtfolge. Seit 2005 wird zusätzlich der Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung untersucht	Acker	Pflanze: Ertrag, TKG; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, pH-Wert, P, K, Mg
Speyer	Humusversuch	1958	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Einfluss verschiedener organischer Dünger auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität von Ernteprodukten bei Früchten in verschiedenen Fruchtfolgen mit und ohne Beregnung	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, C <sub>org</sub> , K, Nt, P2O5, K <sub>2</sub> O, Mg, B

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Speyer	Kali-Magnesium-Kalk-Versuch	1978	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Wirkung von Kalium, Magnesium und Kalk auf den Ertrag und die Qualität verschiedener Kulturpflanzen innerhalb einer Fruchtfolge.	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltsstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, B
Speyer	Klärschlammversuch	1981	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Schwermetallanreicherung in Boden und Pflanze in Abhängigkeit von Häufigkeit und Menge der Klärschlammbehandlung sowie der Nährstoffversorgung	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltsstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH, P, K, Mg, C <sub>org</sub> , N, Nährstoffe, Schwermetalle
Spröda	Dauerdüngungsversuch L28	1966	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wirkung differenzierter mineralischer und organischer Düngung auf Nährstoffsubstitution, Ertragsbildung, Bodeneigenschaften, Nitratverlagerung etc.	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Vegetationsbeginn, Bestandsdichte vor Ernte, Ertrag, TS, TKM, Inhaltsstoffe; Boden: N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub> , pH-Wert, P, K, Mg, Nt, Ct, C <sub>org</sub>
Thyrow	Statischer Nährstoffmangelversuch (Thy_D41)	1937	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss von Nährstoffmangel und organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Nährstoffbilanzen, standort-/bewirtschaftungsbedingte C-Speicherung und Bodeneigenschaften	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert
Thyrow	Statischer Bodenfruchtbarkeitsversuch (Thy_D6)	1938	Humboldt-Universität zu Berlin	Wirkung unterschiedlicher Formen und Mengen organischer Dünger in Kombination mit mineralischer N-Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung eines Sandbodens	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt
Zschortau	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1997	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Insultheim	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1991	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Sailtheim	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1991	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Gieshügel	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1990	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, Nährstoffe
Cunnersdorf	Kalkformenversuch	1996	SKW Stickstoffwerke Piesteritz	Wie hoch ist die Mg-Düngewirkung verschiedener Düngelkalle bei unterschiedlicher Reaktivität	Acker	Boden: Textur, pH-Wert, Kalkbedarf, NPK, Mg, Humusgehalt

Quelle: BonaRes Zentrum für Bodenforschung. Karte der Dauerfeldversuche in Deutschland. [https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV\\_de/](https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV_de/), 21.2.2019

Grosse M. & Hierold W. (2019). Long-term Field Experiments in Germany (Version 1.0) [Data set]. <https://doi.org/10.20387/bonares-3tr6-mg8r>

**Tabelle 29: Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Habitaten für Bodenleben**

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Dahnsdorf	Folgenabschätzung der Wechselwirkung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz (Folge)	1997	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.
Gießen	Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof	1998	Justus-Liebig-Universität Gießen	Interaktionen zwischen Bewirtschaftung und Bodenqualität; Humusbilanzierung	Acker	Pflanze: Ertrag, C, N, Beikraut; Boden: mikrobiellen Biomasse, Dehydrogenaseaktivität, N <sub>min</sub> , Ct, Nt, CaCO <sub>3</sub> -C, Grundnährstoffe, Mikronährstoffe, pH-Wert, Trockenrohddichte
Dahnsdorf	Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz (BS1)	1995	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.
Dahnsdorf	Ökologischer Landbau (Öko1)	1995	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.

Quelle: BonaRes Zentrum für Bodenforschung. Karte der Dauerfeldversuche in Deutschland. [https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV\\_de/](https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV_de/), 21.2.2019

Grosse M. & Hierold W. (2019). Long-term Field Experiments in Germany (Version 1.0) [Data set]. <https://doi.org/10.20387/bonares-3tr6-mg8r>

**Tabelle 30: Laufende Dauerfeldversuche mit Daten zu Biomasseproduktion (Begleitgröße)**

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Bad Lauchstädt	Statischer Düngungsversuch V120	1902	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung, organische Bodensubstanz, Ertrag, C- und N-Bilanzen	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , N <sub>t</sub> , pH-Wert, P, K
Bad Lauchstädt	Erweiterter Statischer Düngungsversuch V120a	1978	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung, Ertrag, Modellierung	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , N <sub>t</sub> , pH-Wert, P, K
Bad Lauchstädt	Modellversuch Stalldungsteigerung	1983	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig	Extrem hohe Stallmistapplikation	Acker	Pflanze: Ertrag, Stärkegehalt, C, N, P, K und weitere; Boden: C <sub>org</sub> , N <sub>t</sub> , labiler C und N, pH-Wert, N <sub>min</sub>
Bad Salzungen	Statischer Stickstoffdüngungsversuch	1993	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wirkung höherer bzw. niedriger N-Düngung im Vergleich zur Düngungsempfehlung nach Düngeverordnung (DüV)	Acker	Pflanze: Korn-, Frischmasse- bzw. Knollenertrag
Bad Salzungen	Statischer Kalkdüngungsversuch (M16)	1966	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wirkung verschiedener Kalkmengen und -formen sowie einer Mg-Düngung auf Ertrag, Boden und Pflanze	Acker	Pflanze: Ertrag
Iden	Stickstoffdüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Wie wirken sich eine reduzierte bzw. eine unterlassene Stickstoffdüngung auf die Ertragsleistung, die Futterqualität und die Pflanzenbestandszusammensetzung aus?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Qualität, Inhaltsstoffe, Narbendichte, Lückigkeit, Verunkrautung, Krankheiten, Ertragsanteile zum 1. Aufwuchs; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Bad Salzungen	Dauerdüngungsversuch L28	1966	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wirkung differenzierter mineralischer und organischer Düngung auf Nährstoffsubstitution, Ertragsbildung, Bodeneigenschaften, Nitratverlagerung etc.	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Vegetationsbeginn, Bestandsdichte vor Ernte, Ertrag, TS, TKM, Inhaltsstoffe; Boden: N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub> , pH-Wert, P, K, Mg, Nt, Ct
Hayn	Stickstoffdüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Wie wirken sich eine reduzierte bzw. eine unterlassene Stickstoffdüngung auf die Ertragsleistung, die Futterqualität und die Pflanzenbestandszusammensetzung aus?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Qualität, Inhaltsstoffe, Narbendichte, Lückigkeit, Verunkrautung, Krankheiten, Ertragsanteile zum 1. Aufwuchs; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Berlin-Dahlem	Statischer Dauerversuch Bodennutzung (BDa_D3)	1923	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss unterlassener Kalkung, P-Düngung, flacher Pflugfurche, organischer Düngung und Fruchtfolge auf Bodeneigenschaften und Biomasseproduktion, Untersuchungen zu P-Nachlieferungspotenzial, Pufferung gegen Bodenversauerung und C-Speicherung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert
Berlin-Dahlem	Internationaler Organischer-Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (BDa_IOSDV)	1986	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss langjährig differenzierter organischer und mineralischer Stickstoffdüngung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturen im überregionalen Vergleich europäischer Ackerstandorte. Untersuchungen zu Biomasseproduktion, N-Bilanz und C-Speicherung im Boden.	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, N-Gehalt, weitere Nährstoffe; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, N <sub>min</sub>

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Berlin-Dahlem	Agrarmeteorologisches Intensivmessfeld (BDa_E-Feld)	1953	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss des Witterungsverlaufs auf Pflanzenwachstum und -entwicklung und Ertragsbildung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen.	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Phänologische Bonitur, Witterungsdaten; Boden: Feuchte in 3 Tiefen
Bernburg-Strenzfeld	Anbausysteme-Vergleich (ursprünglich: Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme)	1993	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme, konventionell-ökologisch viehlos - ökologisch viehhaltend	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM, N, P, K, Mg, Qualität; Boden: N <sub>min</sub> , LD, Wasser (M%, V%, nFK), pH-Wert, P, K, Mg, Ct, CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub> , Nt, C/N-Verhältnis
Bernburg-Strenzfeld	Grundbodenbearbeitung und Distelbekämpfung, ökologisch viehlos (ursprünglich Grundbodenbearbeitung und Düngung, ökologisch viehlos)	1994	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Grundbodenbearbeitung und Distelbekämpfung in der Fruchtfolge, ökologisch viehlos	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, N, P, K und Mg, Qualität; Boden: N <sub>min</sub> , LD, Wasser (M%, V%, nFK), pH-Wert, P, K, Mg, Ct, CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub> , Nt, C/N-Verhältnis
Bernburg-Strenzfeld	Bodenbearbeitung und Bestelltechnik in der Fruchtfolge	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)	Bodenbearbeitung und Bestelltechnik in der Fruchtfolge	Acker	Boden: LD, Luftleitfähigkeit, gesättigte Wasserleitfähigkeit, nutzbare Feldkapazität, Durchdringungswiderstand, Grobporenvolumen etc.
Klein-Altendorf	Selektions-Dauerversuch SDV	1996	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	Selektionsexperiment in Sommergerste, Wintererbsen und Winterweizen, Fruchtfolgen	Acker	Pflanze: Aufgang, Bestandsdichte, Blühbeginn, Blühende, Reife, Ertragsfeststellungen, weitere Bonituren bei Bedarf

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Rengen-Daun	Schachbrettversuch / Dauerdüngungsversuch auf Grünland	1941	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	Düngung	Grünland	Pflanze: TM, Ertrag, Qualität, Pflanzensoziologie; Boden: Nährstoffe
Dahnsdorf	Folgenabschätzung der Wechselwirkung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz (Folge)	1997	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.
Dülmen	Klassischer DFV (4b2, organische und mineralische Düngung)	1958	YARA GmbH & Co. KG, Dülmen	Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, TM, N, P, K; Boden: organische Bodensubstanz, Ct, Nt, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, pH-Wert, N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub>
Freising (Dürnast)	Versuch 020 N-Formen-Versuch	1979	Technische Universität München	N-Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, N in Frucht; Boden: Textur, pH-Wert, C, N
Friemar	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1992	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Gießen	Erschöpfungsversuch (EV)	1954	Justus-Liebig-Universität Gießen	Langzeitwirkung eines Nährstoffmangels im Vergleich mit optimaler und sub-optimaler mineralischer und organischer Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Nt, Ct, P, K, Ca, Mg, pH-Wert, Na, S
Gießen	Dauerversuch Biologische Stickstofffixierung (BSG)	1982	Justus-Liebig-Universität Gießen	Wirkung unterschiedlicher Anbausysteme (Brache, Grünmulch, mit und ohne Leguminosen) auf Bodeneigenschaften und Kulturpflanze	Acker	Pflanze: Ertrag etc.; Boden: Ct, Nt, N <sub>min</sub> , pH-Wert, P, K, Mg, Ca, mikrobielle Biomasse

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Gießen	Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof	1998	Justus-Liebig-Universität Gießen	Interaktionen zwischen Bewirtschaftung und Bodenqualität; Humusbilanzierung	Acker	Pflanze: Ertrag, C, N, Beikraut; Boden: mikrobielle Biomasse, Dehydrogenaseaktivität, N <sub>min</sub> , Ct, Nt, CaCO <sub>3</sub> -C, Grundnährstoffe, Mikronährstoffe, pH-Wert, Trockenrohdichte
Angerstein	Bodenbearbeitungsversuch Hohes Feld	1967	Georg-August-Universität Göttingen	Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Stickstoffernährung der Pflanzen und den Stickstoffumsatz im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: C <sub>org</sub> , K, P, Bodenstruktur
Göttingen	Garte-Süd-Bodenbearbeitung (Reinshof)	1970	Georg-August-Universität Göttingen	Der Vergleich der beiden Bodenbearbeitungssysteme "Lockerbodenwirtschaft" und "Festbodenmulchwirtschaft" über einen langen Zeitraum	Acker	Pflanze: Ertrag und Qualität; Boden: Feuchte, C <sub>org</sub> , Bodengefüge, biologische und chemische Eigenschaften, Wurzelverteilung, Verunkrautung
Göttingen	Langzeitversuch zur P- und K-Düngung auf dem Reinshof	1983	Georg-August-Universität Göttingen	P- und K-Düngung	Acker	Pflanze: Erträge, Nährstoffgehalte; Boden: Nährstoffgehalte
Grombach (BW)	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1990	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Großbeeren	Kastenparzellenversuch Sandboden / Lehmboden / Tonboden	1972	Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren	Düngungsbedingte Bodenveränderungen von Böden dreier unterschiedlicher Herkünfte unter gleichem Klima und gleicher Bewirtschaftung	Gemüsebau	Pflanze: Ertrag, N, P, K, Mg; Boden: C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert (in 0-20 cm)

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Groß Kreuz	Dauerfeldversuch P60	1958	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Brandenburg	Auswirkungen verschiedener Formen und Mengen organischer und mineralischer Düngung einschließlich ihrer Kombinationen auf den Pflanzenertrag, den Bodenhumusgehalt, die Humusreproduktion, die Nährstoffeffizienz etc.	Acker	Pflanze: Ertrag, TS, N, P, K, Mg, etc.; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K, Mg, CaCl <sub>2</sub>
Groß Kreuz	Dauerfeldversuch M4	1967	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Brandenburg	Auswirkungen von unterschiedlichen Intensitäten organischer und mineralischer Stickstoffdüngung auf Pflanzenertrag, Humusgehalt, Humusreproduktion, Nährstoffeffizienz und stoffliche Bodeneigenschaften (N-Kombinationsversuch)	Acker	Pflanze: Ertrag, TS, N, P, K, Mg, etc.; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K, Mg, CaCl <sub>2</sub>
Halle	Ewiger Roggen	1878	Martin-Luther-Universität Halle	Organische und mineralische Düngung, Bodeneigenschaften, Ertrag, Qualität	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K
Halle	Schmalfuß'scher Dauerversuch, Feld A, Kalkdüngung	1949	Martin-Luther-Universität Halle	Kalkdüngungsversuch	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K
Halle	Schmalfuß'scher Dauerversuch, Feld C, Kaliumdüngung	1949	Martin-Luther-Universität Halle	Kaliumdüngungsversuch	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K
Halle	Schmalfuß'scher Dauerversuch, Feld D, Phosphordüngung	1949	Martin-Luther-Universität Halle	Phosphordüngungsversuch	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, P, K
Halle	Organische Düngung (Feld F)	1949	Martin-Luther-Universität Halle	Organische Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, NPK; Boden: Humusgehalt, C, N, pH-Wert, P, K

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Hennef	Dauerfeldversuch "Bodenfruchtbarkeit"	1993	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	Effekte von Rottemist organisch/biologisch-dynamisch auf Boden- und Pflanzenparameter	Acker	Pflanze: Ertragsparameter; Boden: Bodennährstoffgehalte, bodenmikrobiologische Parameter
Lauterbach	Düngerartenvergleich (Versuch I)	1964	Martin-Luther-Universität Halle	Düngung, Fruchtfolge	Acker	Pflanze: Trockenmasseertrag, N-Entzug; Boden: pH-Wert, N, P, K, C-Gehalt
Lauterbach	Kombinationswirkung (Versuch II)	1971	Martin-Luther-Universität Halle	Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag, Trockenmasseertrag, N, P, K, Ca, Mg; Boden: pH-Wert, N, P, K, C-Gehalt
Lüttewitz	Bodenbearbeitungsversuch	1992	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Methau	Dauerdüngungsversuch L28	1966	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wirkung differenzierter mineralischer und organischer Düngung auf Nährstoffsubstitution, Ertragsbildung, Bodeneigenschaften, Nitratverlagerung etc.	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Vegetationsbeginn, Bestandsdichte vor Ernte, Ertrag, TS, TKM, Inhaltsstoffe; Boden: N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub> , pH-Wert, P, K, Mg, Nt, Ct
Müncheberg	Dauerdüngungsversuch (V140)	1963	Leibniz Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.	Einfluss von N-Düngung und Stallmist auf Ertrag, N-Bilanzen und Bodeneigenschaften	Acker	Pflanze: Ertrag, TS, N, P, K, Mg; Boden: organische Substanz, Ct, Nt, pH-Wert, P, K, Mg
Müncheberg	Modellbetrieb Organischer Landbau, Felder 931 - 934	1995	Leibniz Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.	Monitoring zum Organischen Landbau	Acker	Pflanze: Ertrag, NPK-Entzug; Boden: Ct, N <sub>org</sub> , P, K, pH-Wert, Mg

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Paulinenaue	Grünlanddauer-versuch (V102)	1961	Leibniz Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.	Auswirkungen jahrzehntelanger unterschiedlich hoher N-Düngung des Niedermoorstandortes auf Bodenkennwerte, Ertragsparameter, Nährstoffstatus, Nährstoffumsetzung und Entwicklung der Pflanzenbestände	Grünland	Pflanze: Ertrag, TS, N, P, K; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, Volumenproben
Puch	Internationaler Organischer Stickstoffdüngungs-Versuch (IOSDV)	1984	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: N <sub>min</sub>
Rauischholzhausen	Internationaler Organischer Stickstoffdüngungs-Versuch (IOSDV)	1984	Justus-Liebig-Universität Gießen	Düngung	Acker	Pflanze: Ertrag etc.; Boden: NO <sub>3</sub> -N
Speyer	Internationaler Organischer Stickstoffdüngungs-Versuch (IOSDV)	1983	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Einfluss von Standort und organischer Düngung bei steigenden Stickstoffgaben auf Ertragsbildung und Qualität von Früchten innerhalb einer Fruchtfolge. Seit 2005 wird zusätzlich der Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung untersucht.	Acker	Pflanze: Ertrag, TKG; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, pH-Wert, P, K, Mg
Speyer	Humusversuch	1958	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Einfluss verschiedener organischer Dünger auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität von Ernteprodukten bei Früchten in verschiedenen Fruchtfolgen mit und ohne Beregnung.	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, C <sub>org</sub> , K, Nt, P <sub>205</sub> , K <sub>2O</sub> , Mg, B

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Speyer	Kali-Magnesium-Kalk-Versuch	1978	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Wirkung von Kalium, Magnesium und Kalk auf den Ertrag und die Qualität verschiedener Kulturpflanzen innerhalb einer Fruchtfolge.	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltsstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH-Wert, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, B
Speyer	Klärschlammversuch	1981	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer	Schwermetallanreicherung in Boden und Pflanze in Abhängigkeit von Häufigkeit und Menge der Klärschlammmanwendung sowie der Nährstoffversorgung.	Acker	Pflanze: Ertrag, Inhaltsstoffe, TKG; Boden: Ct, Nt, pH, P, K, Mg, C <sub>org</sub> , N, Nährstoffe, Schwermetalle
Spröda	Dauerdüngungsversuch L28	1966	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wirkung differenzierter mineralischer und organischer Düngung auf Nährstoffsubstitution, Ertragsbildung, Bodeneigenschaften, Nitratverlagerung etc.	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Vegetationsbeginn, Bestandsdichte vor Ernte, Ertrag, TS, TKM, Inhaltsstoffe; Boden: N <sub>min</sub> , S <sub>min</sub> , pH-Wert, P, K, Mg, Nt, Ct, C <sub>org</sub>
St. Peter	P-Düngungsversuch	1954	FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V.	Düngung	Grünland	Pflanze: Ertrag, Pflanzensoziologie, Nährstoffentzug; Boden: div. Parameter
Thyrow	Düngungs- und Beregnungsversuch (Thy_D1)	1937	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss von Beregnung und mineralischer N-Düngung auf die Biomasseproduktion und den Stoffumsatz eines Sandbodens	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, Nt
Thyrow	Stroh- und N-Düngung in Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Getreideanteil (Thy_D5)	1975	Humboldt-Universität zu Berlin	Wirkung der Strohdüngung auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz, die Biomasseproduktion und die Stickstoffverwertung bei gestaffelter mineralischer N-Düngung in Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Getreideanteil.	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, Nt

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Thyrow	Statischer Nährstoffmangelversuch (Thy_D41)	1937	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss von Nährstoffmangel und organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Nährstoffbilanzen, standort-/bewirtschaftungsbedingte C-Speicherung und Bodeneigenschaften	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt, P, K, Mg, pH-Wert
Thyrow	Nährstoffmangelversuch Winterroggen Monokultur (Thy_D42)	1998	Humboldt-Universität zu Berlin	Einfluss von Nährstoffmangel und organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Nährstoffbilanzen, standort-/bewirtschaftungsbedingte C-Speicherung und Bodeneigenschaften unter Winterroggenmonokultur	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, Nt, P, K, Mg, pH-Wert
Thyrow	Statischer Bodenfruchtbarkeitsversuch (Thy_D6)	1938	Humboldt-Universität zu Berlin	Wirkung unterschiedlicher Formen und Mengen organischer Dünger in Kombination mit mineralischer N-Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung eines Sandbodens	Acker	Pflanze: Ertrag Haupt-/Koppelprodukt, TS, Nährstoffgehalt; Boden: Ct, C <sub>org</sub> , Nt
Steinach	Grünlandversuch Weierwiese	1933	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Düngung	Grünland	Pflanze: Ertrag, mittlere Bestandshöhe; Boden: pH-Wert, P, K
Müncheberg	Modellbetrieb Organischer Landbau, Felder 901 - 904	1995	Leibniz Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg	Monitoring zum Organischen Landbau	Acker	Pflanze: Ertrag, NPK-Entzug; Boden: Ct, N <sub>org</sub> , P, K, pH-Wert, Mg
Rösrath	Kalk-Düngungsversuch	1990	FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V.	Düngung	Grünland	Pflanze: Ertrag, Pflanzensoziologie, Nährstoffentzug; Boden: pH-Wert, div. Parameter

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Pommritz	Effiziente Nährstoffverwertung, K-Eichversuche	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Eichung neuer Bodenuntersuchungsmethoden, Pflege und Weiterentwicklung des Beratungsprogrammes BEFU im Hinblick auf die K-Empfehlung	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM, Stärke (Kartoffeln) etc.; Boden: Bodenuntersuchungen vor Anlage, zu Vegetationsbeginn, nach Ernte
Forchheim	Effiziente Nährstoffverwertung, K-Eichversuche	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Eichung neuer Bodenuntersuchungsmethoden, Pflege und Weiterentwicklung des Beratungsprogrammes BEFU im Hinblick auf die K-Empfehlung	Acker	Pflanze: Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM, Stärke (Kartoffeln) etc.; Boden: Bodenuntersuchungen vor Anlage, zu Vegetationsbeginn, nach Ernte
Hennef	Referenzfläche	1989	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	Effekte von Phosphor und Kaliumdüngung im Gemischtbetrieb mit Rottemistdüngung	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: Nährstoffgehalte
Rauschholzhäuser	Fruchtfolgeversuch (FF)	1983	Justus-Liebig-Universität Gießen	Bewertung unterschiedlicher Fruchtfolgen und Vorfrüchte auf Ertrag und Qualität des Weizens	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: N <sub>min</sub> , P, K, Ca, pH-Wert, Ct, Nt
Rauschholzhäuser	Bodenbearbeitungsversuch (BB)	1999	Justus-Liebig-Universität Gießen	Wirkung wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung auf Bodeneigenschaften und Kulturpflanze	Acker	Pflanze: Ertrag, Pflanzenmerkmale; Boden: Ct, Nt, LD, Nährstoffe
Zschortau	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1997	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Insultheim	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1991	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert
Sailtheim	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1991	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, P, K, Mg, pH-Wert

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Gieshügel	Bodenbearbeitungsversuch Südzucker	1990	Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen	Bodenbearbeitungsintensität	Acker	Pflanze: Ertrag, Qualität, Krankheiten, Schädlinge; Boden: Struktur, Humus, Nährstoffe
Dahnsdorf	Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz (BS1)	1995	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.
Dahnsdorf	Ökologischer Landbau (Öko1)	1995	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.; Boden: Regenwürmer, Mikroorganismen etc.
Dahnsdorf	Strategien zur Minderung der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (BS4)	2002	Julius Kühn Institut Dahnsdorf	Umweltschonender Pflanzenschutz	Acker	Pflanze: Unkrautauflkommen, Krankheiten, Schädlinge, Feldaufgang, Bestandsdichte, Ertrag, TKM etc.
Rostock	Phosphordüngungsstrategien	1998	Universität Rostock	Bewertung der P-Düngewirkung von organischen und mineralischen Düngern sowie deren Kombinationswirkung	Acker	Pflanze: Ertrag, Nährstoffaufnahme; Boden: P, Pw, PSC, P-Sättigung, Enzymaktivität, P-Fraktionen (Bodenuntersuchungen jeweils im Frühjahr und Herbst), pH-Wert

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Freising	Grünlandversuch Veitshof	1951	Technische Universität München	Nährstoffmangelversuch	Grünland	Pflanze: Ertrag und Artenzusammensetzung langjährig; in letzten Jahren zunehmend physiologisch bedeutungsvolle Parameter (z. B. C-, N- und O-Isotopie auf Art- und Organebene); Boden: Gelegentlich Nährstoffgehalte und Isotopenwerte von N und C
Rotthalmünster	Statischer Dauerdüngungsversuch	1961	Höhere Landbauschule Rotthalmünster	Auswirkungen von physiologisch alkalisch und physiologisch sauer wirkenden Düngern	Grünland	Pflanze: Ertrag
Rotthalmünster	Körnermais Daueranbau	1979	Höhere Landbauschule Rotthalmünster	Ursprünglich Verwertung von Molke, dann Wirksamkeit von Didin, später verschiedene Güllevarianten (mit Stickstoffstabilisator und ohne) im Vergleich zu Mineraldüngung, heute drei verschiedene Düngervarianten	Acker	Pflanze: Ertrag
Rotthalmünster	Winterweizen Daueranbau	1969	Höhere Landbauschule Rotthalmünster	Winterweizen nach dem System Thormann, d. h. jährlicher Weizenanbau nur von einer Zwischenfrucht unterbrochen. Seit 1998 pfluglos.	Acker	Pflanze: Ertrag
Christgrün	Phosphordüngung auf Grünland	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Christgrün	Kaliumdüngung auf Grünland	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Forchheim	Phosphordüngung auf Grünland	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Forchheim	Kaliumdüngung auf Grünland	1996	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Hayn	Phosphordüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Hayn	Kaliumdüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Iden	Phosphordüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Iden	Kaliumdüngung auf Grünland	1996	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Oberweißbach	Phosphordüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Oberweißbach	Kaliumdüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngezuschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung
Christgrün	Überprüfung der Kalkempfehlung für Grünland	2003	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Überprüfung der Kalkempfehlung für Grünland unter Schnittnutzung	Grünland	Pflanze: Ertrag, NPK; Boden: pH-Wert
Christgrün	Umweltbewusste Grünlandbewirtschaftung	1999	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Auswirkungen umweltbewusster Grünlandbewirtschaftung zur Entwicklung von standortgerechtem Dauergrünland auf die Futterqualität und den Ertrag des Aufwuchses sowie die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes und Nährstoffgehalte im Boden	Grünland	Pflanze: Ertrag, Qualität; Boden: Nährstoffe
Christgrün	Grunddüngung im Grünland	1997	Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG)	Überprüfung der optimalen Höhe für die P-Düngung (Teil A9) und K-Düngung (Teil B) im Grünland	Grünland	Pflanze: Ertrag, K, P; Boden: P, K
Heßberg	Phosphordüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngezuschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Heßberg	Kaliumdüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung
Paulinenaue	Phosphordüngung auf Grünland	1996	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Brandenburg	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Paulinenaue	Kaliumdüngung auf Grünland	1996	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Brandenburg	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung, N <sub>min</sub>
Wechmar	Phosphordüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Phosphordüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngeschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Wechmar	Kaliumdüngung auf Grünland	1997	Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)	Wie wirken sich eine suboptimale oder eine unterlassene Kaliumdüngung auf die Ertragsleistung, die Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden und auf die Pflanzenbestandszusammensetzung aus? Welche Auswirkungen haben Düngezuschläge?	Grünland	Pflanze: Ertrag, Futterqualität (WEENDER Vollanalyse), Mineralstoffgehalte, Narbendichte, Lückigkeit etc.; Boden: Standardbodenuntersuchung
Rosendahl Holtwick	Dauerfeldversuch (DE-1b-F-1, Am Kotten)	1989	YARA GmbH & Co. KG, Dülmen	Wirkung der NPK-Dünger-Ausbringungsstrategie (Rate, Zeit und Form) auf die Fruchtfolge; wirtschaftliche Vorteile von P und K-Düngern, Nährstoffnutzungseffizienz; P und K-Gehalt des Bodens für die Messung nachhaltiger Pflanzenproduktion	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: P, K
Karthaus	Dauerfeldversuch (DE-1b-F-2, Am Hof)	1989	YARA GmbH & Co. KG, Dülmen	Wirkung der NPK-Dünger-Ausbringungsstrategie (Rate, Zeit und Form) auf die Fruchtfolge; wirtschaftliche Vorteile von P und K-Düngern, Nährstoffnutzungseffizienz; P und K-Gehalt des Bodens für die Messung nachhaltiger Pflanzenproduktion	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: P, K
Dülmen	Dauerfeldversuch (DE-1b-F-3, IPU Schlag 9)	1989	YARA GmbH & Co. KG, Dülmen	Wirkung der NPK-Dünger-Ausbringungsstrategie (Rate, Zeit und Form) auf die Fruchtfolge; wirtschaftliche Vorteile von P und K-Düngern, Nährstoffnutzungseffizienz; P und K-Gehalt des Bodens für die Messung nachhaltiger Pflanzenproduktion	Acker	Pflanze: Ertrag; Boden: P, K
Klein-Altendorf	Dauerdüngungsversuch Obstbau	1968	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	Düngung, Nachhaltigkeit, Bodenfruchtbarkeit, Fruchtqualität	Obstbau	Pflanze: Ertrag, Fruchtqualität; Boden: pH-Wert, P, K, Mg

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Renningen	Versuch 250 (Nährstoffmangelversuch)	1966	Universität Hohenheim (Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340b))	Langfristige Wirkung einzelner Nährstoffe bzw. verschiedener Nährstoffkombinationen auf die Zusammensetzung der Pflanzenbestände, TM-Erträge und die Bodennährstoffgehalte einer 3-Schnitt-Wiese	Grünland	Pflanze: TM-Ertrag; Pflanzenbestandszusammensetzung; Boden: Nt, Ct, P, K, Mg, pH-Wert
Renningen	Versuch 251 (Wechseldüngungsversuch)	1966	Universität Hohenheim (Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen)	Vergleich der Wirkung von Stallmist und Mineraldünger auf geschnittenem Dauergrünland	Grünland	Pflanze: TM-Ertrag; Pflanzenbestandszusammensetzung; Boden: Nt, Ct, P, K, Mg, pH-Wert
Gülzow	Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung/organische Düngung Winterraps (FF 1.1)	1994	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern	Einfluss der Stroh- und der Biogasgülledüngung auf den Ertrag und die Qualität der Fruchtarten sowie den Kohlenstoffvorrat und die Graduierung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag, Nährstoffgehalte, Mg; Boden: N <sub>min</sub> , Makronährstoffe
Gülzow	Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung/organische Düngung Sommerweizen (FF 1.2)	1994	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern	Einfluss der Stroh- und der Biogasgülledüngung auf den Ertrag und die Qualität der Fruchtarten sowie den Kohlenstoffvorrat und die Graduierung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag, Nährstoffgehalte, Mg; Boden: N <sub>min</sub> , Makronährstoffe
Gülzow	Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung/organische Düngung Winterweizen (FF 2.1)	1994	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern	Einfluss der Stroh- und der Biogasgülledüngung auf den Ertrag und die Qualität der Fruchtarten sowie den Kohlenstoffvorrat und die Graduierung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag, Nährstoffgehalte, Mg; Boden: N <sub>min</sub> , Makronährstoffe
Gülzow	Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung/organische Düngung Silomais (FF 2.2)	1994	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern	Einfluss der Stroh- und der Biogasgülledüngung auf den Ertrag und die Qualität der Fruchtarten sowie den Kohlenstoffvorrat und die Graduierung im Boden	Acker	Pflanze: Ertrag, Nährstoffgehalte, Mg; Boden: N <sub>min</sub> , Makronährstoffe

Versuchsstandort	Versuchsname	Versuchsbeginn	Institution	Forschungsthema	Landnutzung	Untersuchungsparameter
Göttingen	E-Feld (ab 1957)	1957	Georg-August-Universität Göttingen	Nährstoffmangel-Fruchtfolgeversuch	Acker	Pflanze: Ertrag etc.

Quelle: BonaRes Zentrum für Bodenforschung. Karte der Dauerfeldversuche in Deutschland. [https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV\\_de/](https://b-web-e.bonares.de/uebersichtskarteDFV_de/), 21.2.2019

Grosse M. & Hierold W. (2019). Long-term Field Experiments in Germany (Version 1.0) [Data set]. <https://doi.org/10.20387/bonares-3tr6-mg8r>

## F.12 Kurzbeschreibung Edaphobase

### Kurzbeschreibung

Edaphobase ist ein Informations- und Datenbanksystem für Bodenorganismen, das im *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) Netzwerk integriert ist. Es liegen Daten zu Lumbricidae, Enchytraeidae, Nematoda, Oribatida, Gamasina, Collembola, Chilopoda und Diplopoda vor. Edaphobase stellt umfassende Daten zu Taxonomie und Zoogeographie dieser Organismengruppen in Verbindung mit ökologischen Hintergrundinformationen zu ihren Fundorten dar (z. B. zu Geographie, Boden, Habitattyp, Klima).

Die Daten stammen aus deutschen Museumssammlungen, wissenschaftlichen Veröffentlichungen, unveröffentlichten Ergebnissen von Geländestudien (u. a. Diplom- und Doktorarbeiten, Berichte) und Sammlungsdaten deutscher Forschungsinstitute. Der Fokus liegt auf Deutschland und angrenzenden Gebieten, es liegen jedoch auch Daten aus anderen Ländern und Kontinenten vor, wenn z. B. Präparate in deutschen Museumssammlungen enthalten sind.

Edaphobase ermöglicht einfache Datenabfragen ebenso wie anspruchsvollere Analysen. Zudem können Langzeitdaten für Monitoringzwecke gespeichert und moderne taxonomische Thesauri mit den erhobenen Daten kombiniert werden.

Auswertungstools und methodische Standards werden entwickelt und in die Datenbank integriert. Die Auswertungsmöglichkeiten in Edaphobase umfassen Datensatzstatistiken sowie Verbreitungskarten von Bodenorganismen. Zudem werden prognostische Werkzeuge entwickelt, mit deren Hilfe bodenzoologische Referenzwerte für Monitoringprogramme herausgearbeitet oder Veränderungen innerhalb von Bodentiergemeinschaften als Reaktion z. B. auf Änderungen in Landnutzungssystemen oder auf Auswirkungen des Klimawandels identifiziert werden können.

Die Datenbank wurde in einer ersten Projektphase (2009-2013, Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)) aufgebaut und mit einem Großteil der Daten gefüllt. Von 2013-2018 wurden zudem in einer zweiten Projektphase u. a. deutschlandweite Länderstudien durchgeführt. Ziele der Untersuchungen waren:

- die Nutzbarkeit der Datenbank für ein bodenbiologische Monitoring zu prüfen beziehungsweise diese entsprechend weiterzuentwickeln;
- die Erstellung eines umfassenden bodenbiologischen Datensatzes zur weiteren Befüllung von Datenlücken in Edaphobase sowie zur Nutzung für die Referenzwertbildung von Bodentier-Lebensgemeinschaften;
- die Beantwortung konkreter naturschutzfachlicher Fragestellungen dreier Länderbehörden (**Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt**) und des Nationalparks Eifel (**Nordrhein-Westfalen**), die in entsprechenden Studien bearbeitet wurden.

In den Länderstudien wurden jeweils drei Biotoptypen hinsichtlich ihrer Lebensgemeinschaften verschiedener Bodentiergruppen (Collembola, Oribatida, Diplopoda, Chilopoda, Lumbricidae, Enchytraeidae) untersucht. Darüber hinaus erfolgte die Aufnahme und Auswertung verschiedener Bodenparameter (z. B. Bodenart, Bodentyp, pH-Wert) sowie der Vegetation. Um ein möglichst breites Biotoptypen-Spektrum abzudecken, wurden zwei Standortgradienten (sauer und basenreich) von naturnaher Vegetation bis zu Ersatzgesellschaften 3. Ordnung untersucht. Die standardisierten Probenahmen bzw. die einheitliche Methodik ermöglichten es, die Artenspektren in den verschiedenen Biotoptypen sowohl innerhalb der einzelnen Länderstudien als auch überregional zu vergleichen und die Tierdaten mit den Umweltparametern sowie der Vegetation in Beziehung zu setzen. Die erhobenen Daten dieser Studien sowie weitere Informationen zu den untersuchten Flächen wurden in den fertiggestellten Länderstudien-Gutachten ausgewertet und können zudem online auf dem Edaphobase-Portal eingesehen und heruntergeladen werden.

Die insgesamt 36 Untersuchungsflächen wurden umfassend bodenzoologisch bzw. bodenökologisch charakterisiert und könnten somit einen **Referenzzustand** für spätere Untersuchungen darstellen. Es existiert jedoch **kein installiertes Messnetz** bzw. keine Institution, die die Flächen dauerhaft betreibt, so dass die einzelnen Standorte aussagekräftig für den Verbund beschrieben werden müssten.

Edaphobase ist ein Verbundprojekt des Senckenberg Museums für Naturkunde Görlitz, des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe, der ECT Oekotoxikologie GmbH Flörsheim, der RWTH Aachen University, des Forschungsinstituts für Ökosystemanalyse und -bewertung e. V. - gaiac und des Botanischen Gartens und Museums der FU Berlin.

Das Nationalparkforstamt Eifel (Nordrhein-Westfalen), die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt haben das Projekt während der zweiten Phase von 2013-2018 unterstützt, konkrete naturschutzfachliche Fragestellungen formuliert und im weiteren Verlauf die Untersuchungen begleitet.

### Durchführende Institutionen

Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN) (Koordination)

### Laufzeit

seit 2009

### Weiterführende Informationen

- ▶ Burkhardt, U., Russell, D.J., Decker, P., Döhler, M., Höfer, H., Römbke, J., Trog, C., Vorwald, J., Wurst, E., Xylander, W.E.R. (2014): The Edaphobase project of GBIF-Germany – A new online soil-organism zoological data warehouse. Applied Soil Ecology, 83, 3-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.021>.
- ▶ Edaphobase Portal (Beta-Version): <https://portal.edaphobase.org/>
- ▶ GBIF Datenbank Bodenzoologie: <https://www.senckenberg.de/de/wissenschaft/forschungsprojekte/gbif-datenbank-bodenzoologie/>
- ▶ Oellers, J., Burkhardt, U., Höfer, H., Römbke, J., Roß-Nickoll, M., Russell, D., Toschki, A. (2017): Die Edaphobase-Länderstudie – Ein Ansatz zur Ermittlung von Referenzwerten für Bodenorganismen verschiedener Biotoptypen (Präsentation) [https://www.insect-respect.org/fileadmin/downloads/Tag der Insekten/Oellers-Bodenwelt-Edaphobase-Tag der-Insekten-2017.pdf](https://www.insect-respect.org/fileadmin/downloads/Tag_der_Insekten/Oellers-Bodenwelt-Edaphobase-Tag_der-Insekten-2017.pdf)
- ▶ Toschki, A., Burkhardt, U., Haase, H., Höfer, H., Jänsch, S., Oellers, J., Römbke, J., Roß-Nickoll, M., Salamon, J. –A., Schmelz, R., Scholz-Starke, B., Russell, D. (2019 in prep.) Die Edaphobase-Länderstudien - Synökologische Untersuchungen von Bodenorganismen in einem Biotop- und Standortgradienten in Deutschland 2014-2018. Peckiana, Senckenberg, Görlitz.

## F.13 Kurzbeschreibung Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen

### Kurzbeschreibung

Das Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen soll dazu dienen, die Datenlage zur Situation der Biodiversität in Deutschland, insbesondere in der Normallandschaft, zu verbessern und Defizite sowie die Wirksamkeit naturschutzfachlicher Maßnahmen aufzuzeigen. Es werden keine bodenbiologischen Untersuchungen oder sonstige Untersuchungen des Bodens durchgeführt.

Hintergrund der Bestrebungen ist die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (BMUB 2007), in der die Bundesregierung Ziele, Leitbilder und Maßnahmen zum Erhalt der biologischen Vielfalt formuliert hat. Beim Ökosystem-Monitoring werden auf den bundesweiten repräsentativen Stichprobenflächen (Abbildung 1) systematisch, flächendeckend und wiederholt die Biotoptypen und ihre spezifischen Merkmale erfasst. Die Erfassung der spezifischen Merkmale ermöglicht Aussagen zu qualitativem Zustand bzw. kurz- und mittelfristigen Veränderungen des Zustands der jeweiligen Biotoptypen. Durch die Verschneidung dieser erhobenen Flächendaten mit bereits bestehenden Daten anderer Monitoringprogramme werden Informationen zu Häufigkeit, Verteilung, Zustand und Veränderungen von Ökosystemen sowie Erkenntnisse zu Ursachen des Rückgangs der Artenvielfalt gewonnen. Dies soll die Bewertung der Auswirkungen verschiedener Faktoren, wie u. a. Landnutzungs- und Klimawandel sowie Intensivierung der Landwirtschaft, ermöglichen. Die Ziele des Monitorings sind:

- 1) Wiederholte, systematische und flächendeckende Erfassung und Bewertung von Biotopen auf den bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen
- 2) Gewinnung von Erkenntnissen zu den Ursachen des Rückgangs der biologischen Vielfalt
- 3) Dokumentation und Bewertung der Einflüsse von Landnutzungswandel, Nutzungsdruck, Intensivierung der Landwirtschaft, Klimawandel u. a. in der Normlandschaft
- 4) Erfolgskontrolle der „Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt“ und Wirksamkeitsprüfung der Maßnahmen für die „EU-Biodiversitätsstrategie 2020“

Das Ökosystem-Monitoring wurde im F+E-Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) „Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen“ (FKZ 3516 82 1100, 2016-2019) entwickelt und erprobt. Dazu gehören die Entwicklung eines geeigneten, bundesweit gültigen Kartierschlüssels unter Berücksichtigung der Länderschlüssel, die Entwicklung aussagekräftiger und stabiler Aus- und Bewertungsverfahren, die Entwicklung einer Erfassungssoftware, Erprobungskartierungen auf den Stichprobenflächen sowie die Evaluation und Optimierung der Methodik.

Im Anschluss an das oben genannte Vorhaben haben mittlerweile die Arbeiten an einem Folgevorhaben begonnen: „Ökosystem-Monitoring: Ausbau und erweiterte Stichprobenerfassung (ÖSM-2)“ 2019-2023 (FKZ: 3519811100). Hier werden letzte methodische Anpassungen durchgeführt, eine Standortregion bzw. ein Bundesland vollständig kartiert und aus- und bewertet sowie sich der Thematik Synergien mit anderen Monitoringprogrammen gewidmet.

Abbildung 30: Karte der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen



### **Durchführende Institutionen**

Bundesamt für Naturschutz (BfN), Fachgebiet II 1.3 Monitoring

Auftragnehmer des F+E Vorhabens „Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen“ (FKZ 3516 82 1100): PAN Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH, K. Hänel (Universität Kassel, Fachbereich 6 – ASL, Fachgebiet Landschafts- und Vegetationsökologie), P. Lauser (IVL), A. Lang (Naturschutz und Mediation), J. Saborowski, IP Syscon.

### **Laufzeit**

seit 2016

### **Weiterführende Informationen**

- ▶ Ökosystem-Monitoring: <https://www.bfn.de/themen/monitoring/oekosystem-monitoring.html>

### **Quellen**

- ▶ [http://www.biodiversity.de/sites/default/files/07\\_zueghart\\_oekosystem-monitoring-auf-bundesweit-repraesentativen-stichprobenflaechen.pdf](http://www.biodiversity.de/sites/default/files/07_zueghart_oekosystem-monitoring-auf-bundesweit-repraesentativen-stichprobenflaechen.pdf)
- ▶ <https://www.bfn.de/themen/monitoring/oekosystem-monitoring.html>