

# 1. Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen

HEINRICH HÖPER & HENNING MEESENBURG

## 1.1. Gesetzliche Grundlagen

Vom Kabinett der niedersächsischen Landesregierung wurde am 23. Januar 1990 die Einrichtung von 90 Dauerbeobachtungsflächen mit der dafür erforderlichen Bereitstellung von Finanzmitteln von 1991 an beschlossen. Der Beschluss basierte auf einer gemeinsamen Kabinettsvorlage der Niedersächsischen Ministerien für Wirtschaft, Technologie und Verkehr, für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie für Umwelt vom 05.01.1990. In der Anlage zur Kabinettsvorlage sind die Details des „Dauerbeobachtungsflächen-Programms“ zur Zielsetzung, Flächengröße und -auswahl, Bewirtschaftung, Abstimmung mit anderen Messnetzen, das detaillierte Untersuchungsprogramm, die Zuständigkeiten, der Untersuchungsturnus sowie die Kosten aus damaliger Perspektive aufgeführt. Seit 1999 wird in der aus Vertretern der o. a. drei Ministerien und der zuständigen Landesbehörden bestehenden Steuerungsgruppe das Programm zur Bodendauerbeobachtung abgestimmt.

Die Einrichtung der Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen, und auch in vielen anderen Bundesländern, beginnt bereits deutlich vor der Verabschiedung von Bundes- und Landesgesetzen zum Bodenschutz. Erst mit Verabschiedung des Bundes-Bodenschutzgesetzes im Jahre 1998 werden die Bundesländer gesetzlich ermächtigt, Daten von „Dauerbeobachtungsflächen und Bodenzustandsuntersuchungen über die physikalische, chemische und biologische Beschaffenheit des Bodens und über die Bodennutzung“ zu erfassen (§ 21 Absatz 3, BBODSCHG 1998). Seitens des Landes Niedersachsen wurde 1999 in § 8 des NBodSchG festgelegt, dass das Bundesland Dauerbeobachtungsflächen unterhält und dass die hieran gewonnenen Daten über das Niedersächsische Bodeninformationssystem (NIBIS®) „für Vorhaben zur nachhaltigen Sicherung der Funktionen des Bodens“ bereitgestellt werden. Mit der Verordnung zur Übertragung von staatlichen Aufgaben auf die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWKAUFGÜTRV ND 2019) wird ab dem 01.01.2020 geregelt, dass die

Landwirtschaftskammer auf Bodendauerbeobachtungsflächen Ertragsermittlungen durchführt, Bewirtschaftungsdaten erfasst sowie Pflanzen-, Düngemittel- und Bodenproben gewinnt und auf Nähr- und Schadstoffe analysiert.

Die Bodendauerbeobachtungsflächen unter forstlicher Nutzung werden von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA, bis 2006 Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt) betreut. Die NW-FVA nimmt mit Ausnahme der Grundwasseruntersuchungen alle Erhebungsbereiche der Bodendauerbeobachtung wahr.

## 1.2. Ziele, Funktion und Anwendungsgebiete der Bodendauerbeobachtung

Die Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen sind neben dem Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS®) zentraler Bestandteil der Bereitstellung von Informationsgrundlagen zur Umsetzung von Zielen des Bodenschutzes. Gemäß der Anlage zum Kabinettsbeschluss vom 05.01.1990 sollen an flächen- und bodenrepräsentativen Stellen angelegte Bodendauerbeobachtungsflächen dazu dienen, „den Status quo von Eigenschaften und Belastungssituationen von Böden festzustellen und durch Bodeninput- und -outputuntersuchungen Daten zu langfristigen Veränderungen zu liefern“. In Ergänzung zu einmaligen Erhebungsuntersuchungen, die Informationen zum Zustand der Böden und zur Verbreitung von Bodeneigenschaften liefern, können durch wiederholte und langfristig angelegte Aktivitäten im Rahmen der Bodendauerbeobachtung Veränderungen der Böden festgestellt werden. Dadurch sollen „langfristig standort-, belastungs- und nutzungsspezifische Einflüsse erfasst, Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz des Bodens in seiner Substanz und in seinen vielfältigen Funktionen ermöglicht und Eichstellen, z. B. in Katastrophenlagen (siehe Tschernobyl) geschaffen werden“.

BARTH et al. (2000) definieren als zentrale Ziele der Bodendauerbeobachtung die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden und die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden. Im Hinblick auf die Vorsorgefunktion konkretisieren sie das Ziel darauf, Prognosen über die zukünftige Entwicklung ableiten zu können.

Nach etwa 30 Jahren Betrieb werden folgende zentralen Ziele der Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen definiert, die in ihrer Kombination als Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu

anderen Untersuchungsprogrammen, v. a. den Bodenzustandserhebungen, einem Bodenkataster oder auch den Dauerfeldversuchen, gelten können (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Zentrale Ziele der Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen.

1. langfristige Überwachung der Veränderungen von relevanten Bodeneigenschaften an praxisüblich genutzten bzw. ungenutzten und allgemeinen Umwelteinflüssen unterliegenden Standorten
2. langfristige und umfassende Erhebung von Daten zu Faktoren, die sich auf Bodeneigenschaften auswirken können, oder Einbeziehung dieser Daten aus anderen Monitoringprogrammen
3. langfristige Überwachung der Auswirkungen von Bodeneigenschaften und deren Veränderungen auf die Bewirtschaftung sowie auf Umweltkompartimente, in Niedersachsen v. a. Grundwasser und pflanzliche Biodiversität
4. Entwicklung von Handlungsempfehlungen für den vorsorgenden Bodenschutz und Kontrolle der Auswirkungen politischer Maßnahmen auf Böden

Die Bodendauerbeobachtung erfüllt unterschiedliche Funktionen (BARTH et al. 2000). So können die Standorte der Bodendauerbeobachtung und die daran gewonnenen Daten und Erkenntnisse für verschiedene Zwecke genutzt werden, v. a. als

1. Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen,
2. Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen,
3. Referenzflächen zur Beweissicherung,
4. Referenzflächen für die Umfeld-Überwachung,
5. Referenz für Bodenbelastungen (Hintergrundwerte, Bodenbelastungskataster),
6. Versuchsplattform für Forschung (z. B. zur Methodenentwicklung),
7. Referenz für die bodenkundliche Standortaufnahme.

Bei der Einrichtung wurde in Niedersachsen eine besondere Bedeutung der Bodendauerbeobachtungsflächen im Hinblick auf folgende umweltorientierte Anwendungsgebiete gesehen (Kabinettsvorlage vom 05.01.1990):

- Erhalt eines gesunden, leistungsfähigen Bodens als Grundlage für eine nachhaltige, landwirtschaftliche Bodennutzung zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Nahrungs- und Futtermittel (Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion),

- Auswirkung von Umwelteinflüssen auf Waldböden und Erhalt bzw. Verbesserung des Bodens als Standortfaktor für die forstliche Nutzung bzw. weitere Ökosystemleistungen des Waldes (Nachhaltigkeit der forstlichen Nutzung),
- Auswirkungen der Bodennutzung und von weiteren Stoffeinträgen (z. B. aus der Deposition) in Böden auf die Grundwassergüte in Abhängigkeit vom Standort und von Bodeneigenschaften (Wasserschutz).

Im Laufe der Jahre haben sich weitere Anwendungsgebiete ergeben bzw. haben an Bedeutung gewonnen (vgl. auch HÖPER & MEESENBURG 2012):

- Ableitung von Schwellenwerten für den vorsorgenden, d. h. unabhängig von der Nutzung bewertenden, Bodenschutz, z. B. Hintergrundwerte für Schadstoffe (Bodenschutz),
- Auswirkungen potenzieller Klimaveränderungen auf Böden und auf die landwirtschaftliche und forstliche Bodennutzung (Klimafolgen) sowie von Böden und Bodennutzungen auf das Klima (Klimaschutz), z. B. durch Festlegung oder Freisetzung von Kohlendioxid (Klimaschutz und Anpassung an Klimaveränderungen),
- Auswirkungen von Bodeneigenschaften und Bodennutzung auf die Biodiversität, v. a. von Bodenorganismen und Vegetation (Schutz der Biodiversität).

### 1.3. Auswahl und Repräsentativität der Standorte

Eine Übersicht und Beschreibung der Standorte findet man bei HÖPER & MEESENBURG (2012). Bei begrenzten Finanzmitteln kam der Festlegung der Anzahl der BDF und der Auswahl repräsentativer Standorte die zentrale Bedeutung zu. So wurde festgelegt, dass 90 BDF einzurichten sind, davon 64 auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, sechs auf Naturschutzflächen und 20 auf forstlich genutzten Flächen.

Aufgrund der begrenzten Anzahl der BDF wurde ein expertenbasiertes, auf Kartengrundlagen und Kenntnissen der bodenkundlichen und nutzungsspezifischen örtlichen Gegebenheiten basierendes Auswahlverfahren gewählt.

Für die Auswahl repräsentativer Standorte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Naturschutzflächen wurden die Kriterien Klimaregion und Naturraum (Landschaftsrepräsentanz), Bodentyp und Ausgangsgestein (Bodenrepräsentanz) sowie Nutzung (Nutzungsrepräsentanz) festgelegt, wobei unter Berücksichtigung der Landkreise eine gleichmäßige Verteilung über das Land sichergestellt sein sollte. Zudem sollten Synergien mit bestehenden Messnetzwerken genutzt werden. Die Landschafts- und Bodenrepräsentanz wurden anhand der damals flächendeckend vorliegenden Bodenkundlichen Standortkarte im Maßstab 1 : 200.000 (BSK 200) abgeleitet. Dies gilt zum einen für die Flächenanteile der Bodengroßlandschaften und deren Repräsentanz durch die BDF. Zum anderen lieferte die BSK 200 auch die Suchräume für die festzulegenden BDF-Standorte. Darüber hinaus wurden Standorte aufgrund besonderer Belastungen (Belastungsrepräsentanz) festgelegt, u. a. aufgrund erhöhter Schadstoffgehalte im Substrat (Auenstandorte mit schadstoffhaltigen Sedimenten) oder erhöhter Schadstoffeinträge aus Siedlung, Verkehr, Industrie oder Düngung mit Siedlungsabfällen (Klärschlamm, Kompost). Weitere Flächen wurden aufgrund bodenphysikalischer Belastungen, z. B. potenzielle Substanzverluste durch Wind- und Wassererosion bei erosionsgefährdeten Böden oder durch Substanzverlust durch Torfoxidation bei Moorböden, ausgewählt. Nicht zuletzt wurden auch Flächen berücksichtigt, die möglicherweise durch unterdurchschnittliche oder keine nutzungsbedingten Stoffeinträge gekennzeichnet sind, z. B. ökologische bewirtschaftete BDF und genutzte oder ungenutzte BDF in Naturschutzgebieten.

Bei den forstlich genutzten Dauerbeobachtungsflächen wurden 15 bereits aus der Wald-ökosystemforschung vorhandene BDF weiter betrieben und fünf weitere eingerichtet. Somit konnten bereits bestehende Zeitreihen von Bodenbelastungen und -eigenschaften für die Bodendauerbeobachtung nutzbar gemacht werden. Als Auswahlkriterien spielten neben der Bodenrepräsentanz und dem Ausgangsgestein hier vor allem die Nutzungsrepräsentanz (mit den in Niedersachsen vorwiegend angebaute Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer oder Douglasie mit unterschiedlichem Bestandesalter sowie Waldstruktur) und die Belastungsrepräsentanz (aufgrund atmosphärischer Deposition) eine wesentliche Rolle.

Eine aktuelle Auswertung zeigt, dass die BDF landschaftlich-bodenkundlich weitgehend repräsentativ ausgewählt worden sind, sowohl bezogen auf die 1990 verwendete Kartengrundlage BSK 200 als auch auf die derzeit aktuelle Bodenkarte im Maßstab 1 : 50.000 (BK 50) (GEHRT 2021). Dieses gilt allerdings im Wesentlichen für die Abbildung der Bodengroßlandschaften als oberer Ebene der pedoregionalen Gliederung von Niedersachsen. Die Frage der Repräsentativität muss maßstabsabhängig beantwortet werden. Die BK 50 weist 13.500 Legendeneinheiten auf, die nicht durch die limitierte Anzahl an BDF repräsentativ abgebildet werden können (GEHRT & GENSIOR 2019). Immerhin werden mit den Bodenprofilen der 90 BDF, die in Summe eine bewirtschaftete Fläche von weniger als 100 ha umfassen, 12 % der Landesfläche von Niedersachsen abgedeckt (GEHRT & GENSIOR 2019). Allerdings kommt hinzu, dass nicht nur eine bodenkundliche, sondern auch eine nutzungsbezogene Repräsentanz anzustreben wäre. Hierbei geht es um die Frage, ob die Nutzung an der jeweiligen BDF für den Bodentyp und für die Region repräsentativ ist. Dieses ist noch schwieriger zu erreichen, und, da die Nutzung sich mit der Zeit ändern kann, auch zeitabhängig.

Der besondere Wert der BDF ist somit nicht in der flächendeckenden Standort- und Nutzungsrepräsentanz zu suchen, sondern in der zeitlichen Wiederholung, in der dauerhaften Anlage und kontinuierlichen Datenerhebung sowie in der hohen Datendichte. Die BDF-Standorte bilden Eckpunkte der niedersächsischen Böden und deren Nutzung ab.

Im Gegensatz zu Feldversuchen mit gezielter Fragestellung und vom Versuchsansteller kontrollierten Faktoren handelt es sich bei den BDF um Standorte, die durch den Besitzer bewirtschaftet werden und die keine Versuchsvarianten aufweisen. Es wurde zudem darauf verzichtet, die BDF in Landesbesitz zu bringen, um den

Verwaltungsaufwand gering und die Praxisnähe hoch zu halten.

Dies bedeutet, dass eine Vielzahl von Faktoren auf den Boden einwirkt, die letztendlich allein oder in Kombination zu Bodenveränderungen führen können (Tab. 1.2).

Tab. 1.2: Faktoren, die zu Veränderungen von Bodeneigenschaften führen können, und mögliche Wirkgrößen.

Faktorengruppe	Faktoren (Beispiele)	Wirkgrößen menschlichen Handelns
Klima	Witterung	globale Klimaveränderungen, Klimapolitik
Immission	diffuse Stoffeinträge durch Deposition	Umweltpolitik, Industriepolitik
Bewirtschaftung	Kulturen, Baumarten, Stoffein- und -austräge, Bodenbearbeitung und Technik	Agrar-, Forst- und Umweltpolitik, Marktbedingungen, Rohstoffmärkte, Klimafolgenanpassung, Bewirtschafter, Agrarberatung
Ausgangsgestein	Stofffreisetzung, Pufferung	Säure- und Baseneinträge durch Deposition und Düngung
Erosion und Über-/Abschwemmung	Stoffein- und -austräge	Bewirtschaftung auf Nachbarflächen, globale Klimaveränderungen, Klimapolitik

#### 1.4. Untersuchungsprogramm – Rahmen und Zielsetzungen

Zur Erreichung der Ziele der Bodendauerbeobachtung werden Verfahren der Merkmals- und der Prozessdokumentation eingesetzt (BARTH et al. 2000). Die Merkmalsdokumentation erfasst Zustände des betrachteten Ökosystems zu definierten Zeitpunkten. Sie umfasst die Grundinventur und die periodischen Zwischen- und Wiederholungsinventuren des Bodens und findet an allen BDF statt. Dazu gehören auch Untersuchungen und Erhebungen zu Aufwuchs und Vegetation oder zur Nutzung und Bewirtschaftung. Ein wichtiges Werkzeug der Merkmalsdokumentation ist auch die Bodenprobenbank, mit der unterschiedliche Zeitstände v. a. des chemischen Bodenzustandes physisch konserviert und retrospektiv, z. B. mit neueren Verfahren oder zum Nachweis neu auftretender Schadstoffe, untersucht werden können.

Bei der Prozessdokumentation werden Wasser-, Stoff- und Energieflüsse durch zeitlich hoch aufgelöste Untersuchungen beobachtet, um Prozesse im Boden genauer abzubilden und somit Bodenveränderungen über das Prozessverständnis beschreiben und damit auch besser prognostizieren zu können. Zum einen werden

stetig verlaufende atmosphärische und biosphärische Auswirkungen auf die Böden, u. a. durch Witterung, Deposition und Streufall im Wald, im Jahresverlauf adäquat abgebildet, darunter auch Boden- und Stoffverlagerungen durch Wind- und Wassererosion. Zum anderen lassen sich Stoffumsetzungen im Boden (u. a. Mineralisation und Immobilisation, Verwitterung) sowie der Stofftransport mit dem Sickerwasser ins Grundwasser verfolgen und damit Stoffflüsse genauer betrachten.

An den niedersächsischen BDF finden die Merkmals- und Prozessdokumentation in unterschiedlichen Intensitäten statt. Details zum Untersuchungsprogramm finden sich bei HÖPER & MEESENBURG (2012).

- Standard-BDF-L:  
An allen BDF-L werden wiederkehrende Inventuren des Bodens durchgeführt (Abb. 1.1). Darüber hinaus wird die Bewirtschaftung über die Schlagdatei erfasst, aus der die Kulturen, Düngung, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Erträge, Bodenbearbeitung sowie Maßnahmen der Grünlandnutzung und -pflege hervorgehen.

An den meisten BDF<sup>\*</sup> finden zudem exakte Ertragserhebungen und Untersuchungen der abgefahrenen Ernteprodukte auf Hauptnährstoffe statt. An den Standard-BDF-L lassen sich neben den Veränderungen an Stoffgehalten und -vorräten im Boden jährliche Stoffbilanzen der wichtigsten Makronährstoffe erstellen. Auch kann untersucht werden, wie sich Bewirtschaftungsparameter auf die Bodeneigenschaften ausgewirkt haben.

■ Standard-BDF-L „SMP“:

Auf 21 Flächen des Schwermetallprogramms (SMP) wird das geerntete Pflanzenmaterial auch auf Schwermetalle und organische Schadstoffe untersucht. Damit können die Schwermetallentzüge durch das Pflanzenmaterial und die Transferkoeffizienten zwischen Boden- und Pflanzgehalten an Schwermetallen quantifiziert werden. Unter Verwendung von Faustzahlen und Düngemittelanalysen von Proben der Intensiv-BDF können zudem Schwermetalleinträge durch Düngung, ergänzt um die Deposition, ermittelt und Schwermetallbilanzen aufgestellt werden (KAMERMANN, GROH & HÖPER 2015).

■ Intensiv-BDF-L:

Die zehn Intensiv-BDF-L sind mit bodenkundlich-hydrologischen Messstationen und Saugsondenanlagen, vier Intensiv-BDF mit Großlysimetern ausgestattet (Abb. 1.1). Mit den Messstationen werden zeitlich hochaufgelöst, z. B. täglich oder stündlich, Witterungsparameter und physikalische Bodenzustände (v. a. Bodentemperatur und Bodenwassergehalt) in verschiedenen Tiefen bestimmt. Dies dient dazu, die Auswirkungen der Witterung, z. B. auch der prognostizierten Klimaveränderungen, auf die Böden und die Vegetation zu dokumentieren sowie Prozesse des Wasserhaushaltes zu quantifizieren, insbesondere die Wasserbilanz und die Sickerwasserbildung. Mittels Saugsondenanlagen werden in Zeiten von Sickerwasserbildung, v. a. im Winterhalbjahr, regelmäßig, i. d. R. vierzehntägig, Bodenwasserproben gewonnen und im Labor umfassend chemisch analysiert. In Verbindung mit den Sickerwassermengen werden somit die Stoffausträge mit dem Sickerwasser als

Frachten berechnet. An den Intensiv-BDF-L werden alle Düngemittelproben umfassend auf Nähr- und Schadstoffe untersucht.

■ BDF-L „Erosion“:

An diesen BDF-L findet ein erweitertes Programm zu Erfassung von Prozessen der Wind- und Wassererosion statt. Zur Parametrisierung der Winderosion wird an Messstationen die Windgeschwindigkeit zeitlich hochaufgelöst gemessen. Zudem werden Sedimentfallen aufgestellt, um die in einer bestimmten Höhe über der Oberfläche vom Wind verfrachteten Partikel aufzufangen und der Analyse zuzuführen. An BDF-L mit einer besonderen Gefährdung durch Wassererosion wird u. a. die Niederschlagsintensität erfasst. Darüber hinaus findet im Umfeld der BDF-L sowie auf weiteren Flächen eine Kartierung von Merkmalen der Wassererosion statt (STEINHOFF-KNOPP 2021a).

■ Standard-BDF-F:

An allen forstlich genutzten BDF (BDF-F) werden wiederkehrende Inventuren des Bodens durchgeführt (Abb. 1.1) Darüber hinaus wird die Bewirtschaftung, wie z. B. Baumentnahmen im Zuge von Durchforstungen oder der Endnutzung, Pflanzungen, Kalkungsmaßnahmen oder Bodenbearbeitung, erfasst. An allen BDF-F wird regelmäßig die Bestandesbiomasse erhoben, woraus Aussagen zum Biomassewachstum und zu den in der Biomasse gespeicherten Nährstoffen getroffen werden können. An den Standard-BDF-F lassen sich Bodenveränderungen vorwiegend durch Veränderungen von Stoffgehalten und -vorräten im Boden nachweisen. Auch kann untersucht werden, wie sich die Waldbewirtschaftung auf die Bodeneigenschaften ausgewirkt hat.

■ Intensiv-BDF-F:

Die neun Intensiv-BDF-F sind mit meteorologischen und bodenhydrologischen Messstationen und Saugsondenanlagen ausgestattet. Mit den Messstationen werden zeitlich hochaufgelöst (i. d. R. viertelstündlich) Witterungsparameter, die Bodenwasser-  
verfügbarkeit (Bodenwasserpotenzial und Bodenwassergehalt) sowie die Bodentem-

\* Ausnahmen: Beweidung, Anbau von Raps und Leguminosen.

peratur in verschiedenen Bodentiefen beobachtet. Die bodenhydrologischen Messungen dienen der Erfassung von Wassermangel oder Wasserüberschuss im Wald sowie der Eichung und Überprüfung von Wasserhaushaltsmodellen, mit denen die Sickerwasserraten im Boden geschätzt werden (RASPE et al. 2013). Weiterhin werden Umfangsänderungen sowie an ausgewählten BDF-F die Saftflussraten der Bäume in hoher zeitlicher Auflösung bestimmt. Durch die Messung der atmosphärischen Deposition wird ein wichtiger Stoffeintragspfad und durch die Erhebung des Streufalls des Waldbestandes die interne Stoffzirkulation erfasst. Mittels Saugsondenanlagen werden regelmäßig Proben der Bodenlösung gewonnen und im Labor chemisch analysiert. In Verbindung mit den

Sickerwassermengen können die Stoffausträge mit dem Sickerwasser berechnet werden (NIEMINEN et al. 2013). Durch die Erfassung der wichtigsten Stoffeintrags- und -austragsraten können Stoffbilanzen erstellt werden, die Auskunft über Stoffanreicherungen oder Stoffverluste liefern und somit die Nachhaltigkeit der forstlichen Nutzung indizieren können.

Im Rahmen des Gewässerüberwachungssystems Niedersachsen (GÜN) wird an BDF, aber auch an weiteren Standorten die Deposition (KEUFFEL-TÜRK et al. 2021) sowie Grundwasserstände und Grundwassergütedaten an Grundwassermessstellen regelmäßig erhoben (JANKOWSKI 2012).

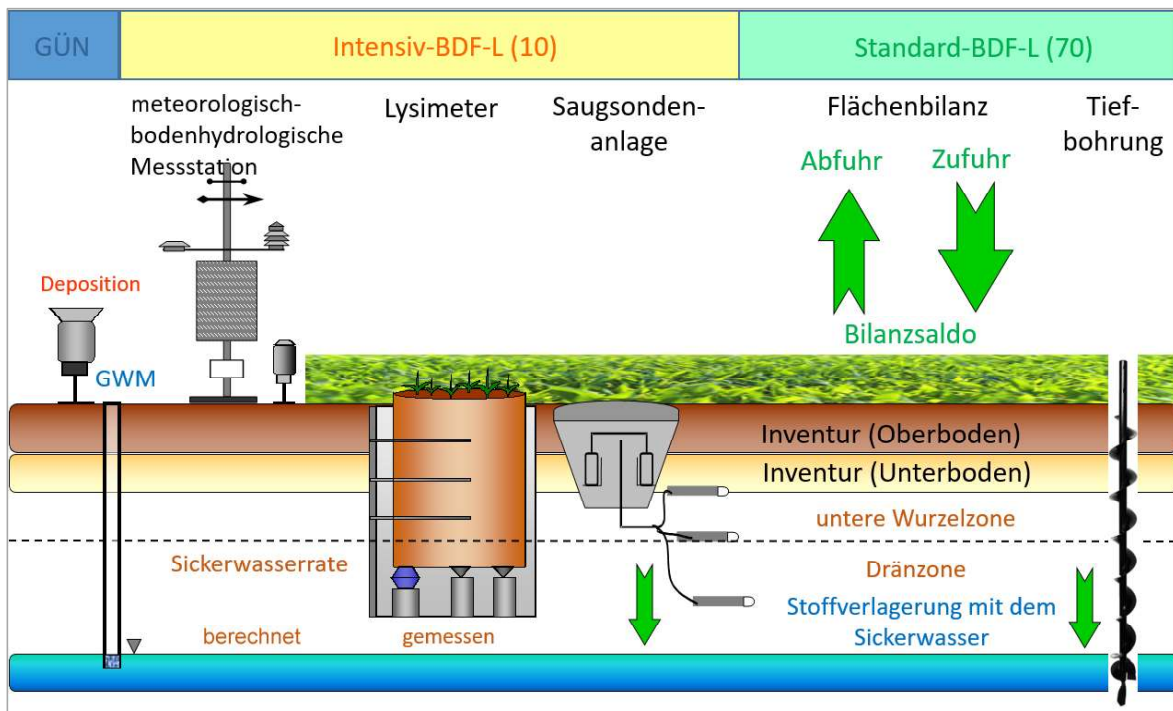


Abb. 1.1: Instrumente und Kompartimente zur Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen auf den landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF-L) (GÜN = Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen, GWM = Grundwassermessstelle).

Abbildung 1.1 gibt einen Überblick über die Instrumente, die zur Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen auf Offenland-BDF zur Verfügung stehen.

Aus dem GÜN stehen Stoffeinträge durch Deposition sowie Gütedaten für das Grundwasser zur Verfügung.

Auf allen BDF (Standard-BDF-L und Intensiv-BDF-L) werden über regelmäßige Inventuren die Veränderungen der Stoffgehalte und -vorräte im Ober- und Unterboden (bis 1 m Tiefe) erfasst. Tiefbohrungen bis ins Grundwasser werden vor allem zur Ermittlung der Nitratverlagerung ins Grundwasser durchgeführt. Anhand der Bewirtschaftungsdaten werden die Stoffeinträge durch Nutzung (Flächenbilanzsaldo aus der Zufuhr über Dünge- und Pflanzenschutzmittel und Abfuhr mit dem Erntegut einschließlich Nebenprodukten, v. a. Stroh) quantifiziert.

Auf Intensiv-BDF wird die Stoffverlagerung (Stoffkonzentrationen und -frachten) mit dem Sickerwasser in Richtung Grundwasser quantifiziert.

### 1.5. Historie und bedeutende Veröffentlichungen zum Programm

Im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms (IBP) wurden seit 1966 verschiedene Untersuchungsflächen im Solling angelegt, an denen Strukturen und Funktionen von Waldökosystemen untersucht wurden (ELLENBERG, MAYER & SCHAUERMANN 1986). Mit dem Auftreten der neuartigen Waldschäden in Deutschland seit Ende der 1970er Jahre wurden die Untersuchungen erweitert und auf weitere Untersuchungsflächen in Nordwestdeutschland ausgedehnt (ULRICH 1994). Die Untersuchungen umfassten die Beobachtung der wesentlichen Stoffeinträge und Stoffaussträge sowie die wiederkehrende Erhebung von Merkmalen in den verschiedenen Waldökosystemkompartimenten (MEESENBURG et al. 2016). Konzeptionell und methodisch wurden damit Grundlagen für ein Bodenmonitoring angelegt, was die Übernahme mehrerer Untersuchungsflächen in das ab 1990 konzipierte niedersächsische Bodendauerbeobachtungsprogramm nahelegte (MEESENBURG et al. 1997).

Nach Beschlussfassung sowie Mittelbereitstellung wurden zwischen 1991 und 2001 die 70 landwirtschaftlich und 20 forstlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Dazu wurde nach Auswahl der geeigneten Flurstücke durch eine bodenkundliche Feinkartierung im 25x25-m-Raster die 1 ha große Bodendauerbeobachtungsfläche in einem bodenkundlich möglichst homogenen Bereich sowie vier

Kernflächen von 256 m<sup>2</sup> Größe dauerhaft festgelegt, vermessen und unterirdisch vermarktet. Im Rahmen der Grundinventur (GI) wurde in einer Profilgrube eine präzise bodenkundliche Ansprache vorgenommen sowie horizontbezogenen Mischproben für chemische Analysen sowie Stechzylinder für strukturabhängige bodenphysikalische Untersuchungen gewonnen. Zusätzlich wurde der Oberboden der Kernflächen beprobt, um Erkenntnisse über die räumliche Variation der chemischen Analysewerte auf der Fläche zu bekommen. Details zum Untersuchungsprogramm finden sich bei HÖPER & MEESENBURG (2012). Eine detaillierte Darstellung des Untersuchungsprogramms sowie erster Ergebnisse aus der Grundinventur erfolgte durch KLEEFISCH & KUES (1997) sowie im Tagungsband „10 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen – Ein Leitinstrument für integrierte Umweltbeobachtung und Politikberatung“ zur Tagung am 17. und 18.10.2001 in Bremen (NLFB 2001). Eine umfassende Darstellung der Ergebnisse aus den bodenmikrobiologischen Untersuchungen als Referenzwerte und Zeitreihen wurde von HÖPER & KLEEFISCH (2001) vorgenommen.

Einige Jahre später wurde die „Baseline-CD“ herausgegeben (NLFB 2005). Diese CD enthält eine Datenbank mit umfassenden Standortbeschreibungen der 90 Bodendauerbeobachtungsflächen einschließlich Profilbilder sowie die Messergebnisse zum Zustand der Böden bei der Grundinventur. Übersichtskarten geben zudem ein Bild über die räumliche Verbreitung der Gehalte an relevanten Schwermetallen und organischen Schadstoffen in den Böden der Dauerbeobachtungsflächen.

Mit dem Abschluss der Grundinventur begann mit Überlappung im Jahr 2001 die erste Wiederholungsinventur (WI1). Auf die erneute Anlage einer Profilgrube wurde verzichtet, um die Störung des bodenkundlichen Profilaufbaus möglichst gering zu halten. Um dennoch Material aus dem Unterboden gewinnen zu können, wurde eine flächenhafte Profilbeprobung bis 1 m Tiefe eingeführt. Hierzu werden aus dem unmittelbaren Umfeld der Kernflächen jeweils vier Rammkerne gewonnen. Diese werden zu einer virtuellen Flächenprofilwand vereinigt (Abb. 1.2), bodenkundlich angesprochen und horizontbezogen als Mischprobe aus den vier Einzelkernen analysiert. Kompression und Kernverluste werden bei den Tiefenangaben berücksichtigt.

Eine umfassende Auswertung der Grundinventur sowie einiger Wiederholungsinventuren auf den BDF-F wurde für organische Schadstoffe

von FORTMANN & MEESENBURG (2007), für Radiocäsium von FORTMANN & MEESENBURG (2009) vorgelegt.



Abb. 1.2: Flächenprofile aus jeweils vier Rammkernen je Kernfläche und Horizontansprache, L001TIMM, 2. Wiederholungsinventur 2012.

Nach zwei Jahrzehnten Bodendauerbeobachtung und Abschluss der ersten Wiederholungsinventur fand am 05. und 06.12.2011 die Tagung „20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen – Bodenschutz für eine nachhaltige und umweltverträgliche Landnutzung“ in Hannover statt. Die bis dato vorliegenden Untersuchungsergebnisse wurden in einem Berichtsband (HÖPER & MEESENBURG 2012) veröffentlicht. In dem Tagungsband wird die Vielfalt der mit der Bodendauerbeobachtung betrachteten Themenfelder und die Vernetzung mit anderen Monitoringprogrammen deutlich.

KAMERMANN, GROH & HÖPER (2015) erstellten mehrjährige Schwermetallbilanzen aus den Einträgen über Deposition, Düngung und Pflanzenschutz sowie den Austrägen mit dem Erntegut, sowie, an einigen Standorten, Auswaschung mit dem Sickerwasser für die BDF-L aus dem SMP-Unterprogramm (21 BDF mit erweiterter Untersuchung auf Schadstoffe). Diese dienen dazu, potenzielle Veränderungen der Schwermetallvorräte im Oberboden der BDF-Standorte einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen (vgl. KNACKSTERDT, HÖPER & GROH 2021).

Durch KORTE et al. (2019) wurde erstmals eine umfassende Auswertung der Bewirtschaftung und der Nährstoffbilanzen der landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen vorgenommen. Es wurden die Nährstoffentzüge und die Nährstoffzufuhr für alle ackerbaulich und als Grünland genutzten BDF für die Jahre 2001 bis 2016 zusammengestellt und im Hinblick auf potenzielle Einflussfaktoren ausgewertet.

Seit 2000 erfolgt eine flächendeckende Kartierung von Merkmalen der Wassererosion im Umfeld von zwei BDF-L-Standorten (Barum und Küingdorf) sowie in fünf weiteren Beobachtungsgebieten im niedersächsischen Berg- und Hügelland. Ein umfassender Bericht über die Ergebnisse aus 20 Jahren Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen findet sich bei STEINHOFF-KNOPP (2021b), sowie in Kurzfassung bei STEINHOFF-KNOPP (2021a).



## 1.6. Auswertung der Ergebnisse

Da die einzelnen Bodendauerbeobachtungsflächen nicht wiederholt angelegt werden, die Randbedingungen nicht kontrolliert werden (können) und ihr Betrieb dauerhaft angelegt ist, unterliegt die Auswertung der Ergebnisse besonderen Bedingungen und Anforderungen.

- Bei den Dauerbeobachtungsflächen handelt es sich nicht um ein randomisiert angelegtes Experiment, in dem hypothesenbasiert einzelne Faktoren variiert werden und ggf. mit einer Referenz verglichen werden können, sondern um „Beobachtungsstudien“. Es können somit in der Regel keine Aussagen zu Faktorwirkungen an einzelnen Standorten gemacht werden.
- Die zunächst zentrale wissenschaftliche Hypothese der Bodendauerbeobachtung ist die Nullhypothese, die besagt, dass in Abhängigkeit von der Zeit keine Veränderungen von Bodeneigenschaften am einzelnen Standort erwartet werden. Durch Vergleich später mit früher oder zu Programmbeginn gewonnenen Werten kann festgestellt werden, ob eine Veränderung am Standort eingetreten ist. Die Ursachen für mögliche Veränderungen können dadurch meist nicht statistisch einwandfrei festgestellt werden, wenngleich es die umfangreich, vielfältig und langjährig erhobenen Daten ermöglichen, anhand statistischer Modelle Einflussfaktoren herauszuarbeiten.
- Es stellt sich die Frage, ob Veränderungen von Bodeneigenschaften landesweit gleichgerichtet sind. So wurden z. B. für Dioxine und Furane im Oberboden der ackerbaulich genutzten BDF landesweit abnehmende Gehalte festgestellt (MEYER & BISCHOFF 2021), was einen Hinweis auf landesweit gleichermaßen ablaufende Prozesse gibt, d. h. verminderter Eintrag in Verbindung mit einem Abbau im Boden.
- Eine weitere Eingrenzung der Faktoren, die möglichen Veränderungen von Bodeneigenschaften zugrunde liegen können, kann durch eine Gruppierung der BDF-Standorte nach Standorteigenschaften erlangt werden (vgl. HÖPER 2021). So kann z. B. festgestellt werden, ob die beobachteten Veränderungen auf Standorten mit einer bestimmten Bodenartengruppe (z. B. Sand- vs. Ton- vs. Schluffböden) oder Feuchtesituation (z. B. Gleye oder Marschen vs. Podsol oder Braunerde) besonders ausgeprägt sind. Der Gruppierung sind allerdings Grenzen gesetzt, da aus statistischen Gründen nur solche Gruppen betrachtet werden sollten, denen mindestens drei Standorte angehören.
- Neben der Nullhypothese können im Verlaufe der Zeit aus den vorhandenen Erhebungen zu Begleitfaktoren im BDF-Programm oder aus anderen Monitoringprogrammen neue Hypothesen formuliert werden. So lassen sich die von KAMERMANN, GROH & HÖPER (2015) aufgestellten Schwermetallbilanzen dazu verwenden, Vorratsänderungen von Schwermetallen im Boden vorherzusagen und den gemessenen Bodenvorratsänderungen gegenüberzustellen (KNACKSTERDT, HÖPER & GROH 2021).
- Da die BDF dauerhaft betrieben werden, kann es im Laufe der Zeit zu unterschiedlichen zeitlichen Veränderungen kommen. So können AHRENDTS et al. (2021) anhand gemischter Regressionsmodelle belegen, dass die Calcium-Einträge durch Deposition und die Calcium-Austräge mit dem Sickerwasser unter Wäldern zwischen 1970 und 2000 stark und seitdem nur noch schwach abnehmen bzw. konstant sind. Dies ist auch ein Indiz dafür, dass sich bei längeren Zeitreihen neue oder andere Erkenntnisse ergeben können, als bei kurzen und dass immer wieder neue Auswertungen der vorhandenen Daten erforderlich sind.
- Mit zunehmender Dauer des Programms nimmt die Komplexität der Auswertungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Interaktionen zwischen den Bodeneigenschaften und den erhobenen Faktoren, hier v. a. Bewirtschaftung und Klima bzw. Witterung, stetig zu.
- Ein zentraler Baustein der Bodendauerbeobachtung ist die Bodenprobenbank, die nach § 8 NBODSCHG (1999) als Bestandteil des Niedersächsischen Bodeninformationssystems definiert ist. Von allen im Rahmen der Bodendauerbeobachtung gewonnenen Bodenproben werden trockene Rückstellproben in die Bodenprobenbank eingelagert. Bodenproben aus der ersten Wiederholungsinventur wurden zudem gefroren eingelagert. Die Proben aus der Bodenprobenbank können für Nachuntersuchungen verwendet werden, um

- a. Trends durch parallele Analyse von Rückstellproben und aktuell gewonnenen Proben im selben Analysendurchgang letztendlich abzusichern,
- b. neu auftretende Schadstoffe (z. B. Mikroplastik, per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFA)), soweit sie unter trockenen Lagerungsbedingungen abbauresistent sind, in Proben unterschiedlicher Zeitstände nachzuuntersuchen, um retrospektiv Bodenveränderungen festzustellen.

### 1.7. Einbindung in die Aktivitäten des Landes Niedersachsen

Ergebnisse aus der Bodendauerbeobachtung fließen in unterschiedliche Aktivitäten, Berichte und Planungen des Landes Niedersachsen ein.

Im Aktionsprogramm zum Schutz der Böden in Niedersachsen (MU 2020a) wird die besondere Bedeutung des Bodenmonitorings und damit der Bodendauerbeobachtung als eines der zentralen Instrumente des Bodenschutzes in Niedersachsen hervorgehoben. Eine kontinuierliche Fortführung des bestehenden Bodenmonitorings zur Statuserhebung und Diagnose von Veränderungen wird als Maßnahme zur Erreichung von Handlungszielen im Bereich des vorsorgenden stofflichen Bodenschutzes, d. h. im Hinblick auf die Beobachtung von Bodenbelastungen in der Fläche, empfohlen.

Im Umweltbericht des Landes Niedersachsen (MU 2021) werden verschiedene Teilberichte mit Ergebnissen aus der Bodendauerbeobachtung bedient, v. a. zum Themenfeld „Lebensgrundlage Boden“. Hier wird auf die stofflichen Belastungen und die Entwicklung der organischen Substanz in landwirtschaftlich genutzten Böden und Waldböden sowie auf die Bodenversauerung eingegangen, unter Verwendung von Ergebnissen, die in den Langzeituntersuchungen der Bodendauerbeobachtung herausgearbeitet werden konnten.

Im Rahmen der Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (REGIERUNGSKOMMISSION KLIMASCHUTZ 2012) wird empfohlen, das Programm zur Bodendauerbeobachtung im Hinblick auf die Erfordernisse eines auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitorings zu nutzen und weiter zu entwickeln. Dieser Aspekt

wird im Umsetzungsbericht zu den Empfehlungen der Regierungskommission Klimaschutz wiederaufgenommen (MU 2015)

Nach dem Entwurf des Niedersächsischen Landschaftsprogramms (MU 2020b) zählen Bodendauerbeobachtungsflächen zu den Böden mit besonderen Werten und damit zu den schutzwürdigen Böden. Dies gilt vor allem im Hinblick auf ihre Bedeutung als repräsentative und für eine Landschaft charakteristische Böden und die über Jahrzehnte auch analytisch dokumentierten Entwicklungen von Bodeneigenschaften und Stoffflüssen (BUG et al. 2019). Hier wird zudem besonders abgehoben auf die Bedeutung der Bodendauerbeobachtung, um den Erfolg agrar- und umweltpolitischer Maßnahmen zu kontrollieren und ggf. Gesetzes- und Regelungslücken im Boden- und Gewässerschutz zu erkennen. Auch können über die Dauerbeobachtung die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Böden diagnostiziert werden, um auch hier rechtzeitig Handlungsoptionen entwickeln zu können. Die Bodendauerbeobachtung wird zudem als Teil einer umfassenden Umweltüberwachung unterschiedlicher Medien, aber auch Zuständigkeiten gesehen, die es weiter zu vernetzen und optimieren gilt.

Informationen aus der forstlichen Bodendauerbeobachtung gehen als Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings in die jährliche Berichterstattung zum Zustand des Waldes ein (ML 2020).

### 1.8. Einbindung in bundesweite Aktivitäten

Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen unterliegt der Zuständigkeit der Bundesländer. Auch sind in Niedersachsen wie in vielen anderen Bundesländern Bodendauerbeobachtungsflächen eingerichtet worden, ohne dass die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen auf Landes- oder Bundesebene bereits gelegt worden waren. Dennoch haben die Vertreter der Bundesländer sich bereits sehr früh methodisch abgestimmt. Eine länderübergreifende „Konzeption zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen“ wurde 1991 von der Unterarbeitsgruppe „Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ der Sonderarbeitsgruppe „Informationsgrundlagen Bodenschutz“ der Umweltministerkonferenz fertiggestellt (SAG 1991). Eine weitere Abstimmung im

Hinblick auf ein bundesweit einheitliches Vorgehen erfolgte durch die Ad-hoc-AG Bodendauerbeobachtung der LABO (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz) zu „Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen“ (BARTH et al. 2000).

KAUFMANN-BOLL, MAKOWSKY & MÜLLER (2019) haben im Auftrag der LABO untersucht, inwieweit das Konzept nach BARTH et al. (2000) auch auf den urbanen Bereich übertragen werden kann bzw. inwieweit eine konzeptionelle und methodische Weiterentwicklung erfolgen sollte. Diese Fragen stellen sich vor allem für die „Stadtstaaten“, können aber auch in Verdichtungsräumen der Flächenländer zum Tragen kommen.

Derzeit, bis Anfang 2022, befasst sich eine Redaktionsgruppe innerhalb der Ad-hoc-AG Bodendauerbeobachtung im Auftrag der LABO mit einer Aktualisierung des Konzeptes, ergänzt um Aspekte einer standardisierten Auswertung von Untersuchungsergebnissen unter dem Titel „Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Bodendauerbeobachtungsflächen“.

Ergebnisse aus der Bodendauerbeobachtung fließen in die von der LABO festgelegten Hintergrundwerte von Schadstoffen in Böden auf Landes- und auf Bundesebene ein (LABO 2017).

Zudem gibt es von Seiten des Bundes, in der Regel vertreten durch das Umweltbundesamt, verschiedene Aktivitäten, die Daten aus der Bodendauerbeobachtung länderübergreifend zusammenzustellen und auszuwerten.

Ergebnisse einer gemeinsamen Auswertung von Daten der BDF der Bundesländer aus den Grundinventuren wurden von HUSCHEK & KRENGEL (2004) im Auftrag des Umweltbundesamtes vorgelegt. Die Studie zeigte, dass die Daten aus unterschiedlichen Ländern zusammengeführt und harmonisiert werden können, um so einen länderübergreifenden Bericht zum Bodenzustand (Ist-Zustand) an den BDF-Standorten zu erstellen. Schwerpunktmäßig wurden Daten zu Schwermetallgehalten, Gesamphosphor- und Gesamtstickstoffgehalten sowie zur organischen Substanz von 624 BDF statistisch ausgewertet und nach Bodennutzung, Bodenart und Bodenausgangsgestein differenziert. Es wurde auch herausgearbeitet, dass für belastbare Aussagen zum Bodenzustand auf Bundesebene die Daten nicht ausreichen. Dies unterstreicht die besondere Bedeutung der BDF zur

Erfassung von zeitlichen Veränderungen. Der hierfür zu betreibende Aufwand (v. a. Untersuchungsprogramm, Zyklus der Untersuchungen, Erfassung von Begleitparametern, z. B. Bewirtschaftung) kann aus finanziellen Gründen nicht für ein gleichzeitig weitgehend flächenrepräsentatives Monitoringprogramm betrieben werden. An anderer Stelle wird gezeigt werden, wie die Bodendauerbeobachtung der Länder, als auf zeitliche Variation angelegtes Programm, z. B. mit der BZE Landwirtschaft, als vor allem auf räumliche Variation angelegtes Programm, gemeinsam genutzt werden kann.

Viele der für die Bodendauerbeobachtung entwickelten bzw. in der Bodendauerbeobachtung angewendeten analytischen Methoden fanden auch Eingang in andere Programme des forstlichen Umweltmonitorings. Die Verfahren sind, einschließlich des ursprünglich für die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) entwickelten Methoden-Codes, im Handbuch Forstliche Analytik dokumentiert (HFA 2009).

Zur bundesweiten Harmonisierung der Daten und zur Dokumentation von Verfahrenswechseln wurden von KAUFMANN-BOLL et al. (2011) im Auftrag des Umweltbundesamtes der Methoden-Code weiterentwickelt und eine Datenbank zur Datenerfassung entwickelt. Eine Codierung wird für vier Sequenzen Probenahme und -vorbehandlung im Feld, Probenvorbehandlung im Labor, Untersuchungsverfahren und Bestimmungsverfahren vorgenommen. Der Methoden-Code ist bereits sehr umfassend, wenn auch nicht vollständig, und umfasst die Medien Boden, Pflanze und Dünger (Wasser noch nicht ausgeführt) sowie die anorganische und organische Chemie, Bodenphysik, Pflanzeigenschaften (Wald, z. B. Blatt- und Nadelgewicht), Bodenbiologie und Mineralogie.

MARX et al. (2016) haben bundesweit eine Auswertung zu zeitlichen Veränderungen des Humusgehaltes von Ackerböden anhand der Daten aus der Bodendauerbeobachtung der Bundesländer vorgenommen. Sie heben für standardisierte bundesweite BDF-Auswertungen auf die Bedeutung eines länderübergreifenden Mindestdatensatzes sowie auf die Notwendigkeit einheitlicher Datenbankstrukturen ab. Bezüglich des letzten Aspektes ist damit zu rechnen, dass spätestens mit der Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie (EG 2007) ein Datenaustausch einfach möglich sein sollte. MARX et al. (2016) heben die besondere Bedeutung des langfristigen Betriebes von BDF hervor, vor allem auch,

um belastbare Aussagen zu den Interaktionen von Bodenumusgehalt und klimatischen Veränderungen treffen zu können.

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) wurden in den Zeiträumen 1987–1991 (BZE I) und 2006–2008 (BZE II) deutschlandweit Standorte unter forstlicher Nutzung in einem Raster von 8 x 8 km beprobt und analysiert, davon in Niedersachsen 192 (BZE I) bzw. 169 (BZE II) Plots (WELLBROCK & BOLTE 2019, EVERS et al. 2019). Eine dritte Erhebung ist in den Jahren 2022–2024 vorgesehen. Die Böden wurden bis mindestens in 90 cm Tiefe neben grundlegenden bodenphysikalischen Parametern auf organischen und anorganischen Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, den Säure-/Basenstatus sowie auf alle wichtigen Pflanzennährstoffe, austauschbare Kationen, Schwermetalle und organische Schadstoffe (nur BZE II) untersucht. Daneben wurden während der Inventuren Erhebungen zum Kronenzustand, bestandesstrukturelle Größen sowie die Baumernährung mittels Blatt-/Nadelanalysen durchgeführt. Die Erhebung auf einem regelmäßigen Raster liefert flächenrepräsentative Informationen des Bodenzustands zum Zeitpunkt der Inventuren.

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft wurden deutschlandweit auf Flächen unter landwirtschaftlicher Nutzung in einem Raster von 8 x 8 km Böden beprobt und analysiert, davon in Niedersachsen 491 Standorte (JACOBS et al. 2018, GEHRT & GENSIOR 2019). Die Böden wurden vor allem auf organischen Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie auf weitere bodenphysikalische und -chemische Parameter untersucht. Im Rahmen der Rasterweite liefert dieses Vorgehen eine flächenrepräsentative Abbildung des Bodenzustands zum gegebenen Zeitpunkt. Zur Vorhersage potenzieller Trends wurden Daten aus den Dauerbeobachtungsprogrammen der Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg herangezogen und für eine prozessbasierte Modellierung der Bodenvorratsänderungen verwendet.

Seitens des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und des Umweltbundesamtes wird ein Klimafolgen-Boden-Monitoring-Verbund vorbereitet (KAUFMANN-BOLL et al. 2020). Dadurch werden Bodeninformationen bestehender Messnetze und Messstandorte leichter verfügbar gemacht, um die Auswirkungen des Klimawandels auf Böden

besser beobachten und bewerten zu können. Der Schwerpunkt des Messnetzverbundes liegt auf den Themen Bodenwasserhaushalt, Boden-erosion, Bodenbiologie und organische Substanz. Aus dem niedersächsischen Programm zur Bodendauerbeobachtung und zur Erosionsbeobachtung wurden Standorte an den Verbund gemeldet.

In das forstliche Umweltmonitoring nach § 41a BWaldG sind zahlreiche forstlich genutzte BDF integriert, u. a. acht Intensiv-BDF-F aus Niedersachsen. Viele Erhebungsbereiche der Bodendauerbeobachtung sind in das Programm des intensiven forstlichen Umweltmonitorings (Level II) eingebunden (FORUMV-AG 2016). Damit ist gewährleistet, dass der Einfluss von Umweltbelastungen auf Waldökosysteme einschließlich ihrer Böden nach bundesweit harmonisierten Verfahren erhoben wird. Die Level-II-Flächen des forstlichen Umweltmonitorings werden auch für das Monitoring für die neue NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 zur Festlegung nationaler Emissionsreduktionsverpflichtungen für Luftschadstoffe genutzt. Die neue NEC-Richtlinie wurde durch die Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV) in nationales Recht umgesetzt.

## 1.9. Ausblick

Das niedersächsische Programm zur Bodendauerbeobachtung ist dauerhaft angelegt. Dennoch bedarf es stetiger Bemühungen, das Programm gegenüber allen Beteiligten zu bewerben, die Finanzierung unter Berücksichtigung von Preissteigerungen und organisatorischen Änderungen bei den beteiligten Institutionen zu sichern und die Inhalte des Programms an Entwicklungen anzupassen.

Der Sicherung der BDF-Standorte ist eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen, wobei sich dem Programm nur begrenzte Möglichkeiten bieten, die Versiegelung von Flächen in der Nähe von Ortschaften oder den Wechsel zu einem Besitzer, der nicht mit dem Programm kooperieren möchte, zu verhindern. In geringem Umfang ist daher auch immer der Ersatz von Flächen vorzunehmen, wobei wertvolle Zeitreihen der stillgelegten Flächen verloren gehen.

Bezüglich der Datenerhebung kommen mit den Emerging Pollutants („neu auftauchende Schadstoffe“), z. B. Arzneimittel (einschließlich

hormonell wirksamer Substanzen), Hormone und andere endokrine Disruptoren, Biozide, Organometallverbindungen, perfluorierte Substanzen wie Perfluorcarbone oder perfluorierte Tenside, neue Stoffe in Betracht (MU 2020a), die angepasste Analysenprogramme erfordern, ohne den Finanzrahmen der Bodendauerbeobachtung zu sprengen und das laufende Programm zu gefährden. Ähnliches gilt für die Biodiversität der Bodenmikroflora und -fauna, die weitere Monitoringuntersuchungen erfordert, allerdings in einem verträglichen Finanzrahmen und unter Verwendung von Methoden, die für einen Langzeitbetrieb über Jahrzehnte geeignet sind.

Die Sicherstellung von Konstanz und Vergleichbarkeit der Analyseverfahren stellt, angesichts technischer (z. B. Geräte, Sensoren) und regulatorischer (Normung, Weiterentwicklung der Referenzmethoden des Fachbeirats Bodenuntersuchungen) Veränderungen, eine besondere Herausforderung dar.

Insgesamt stellen sich immer wieder Fragen der Optimierung des Untersuchungsprogramms, wobei zwischen der Fortschreibung bestehender Zeitreihen von Bodenparametern und der Aufnahme neuer Parameter abzuwägen ist, solange die finanziellen und personell-organisatorischen Ressourcen nicht angepasst oder erweitert werden können.

Anpassungsmöglichkeiten des Untersuchungsprogramms bestehen auch bei der Beprobungshäufigkeit, wobei der Parameter mit der potenziell höchsten Veränderungsrate die Beprobungshäufigkeit bestimmen sollte, das Untersuchungsprogramm an den Proben aber angepasst werden könnte. Allerdings sollte beachtet werden, dass die Arbeitsintensität über die Jahre gleichmäßig verteilt werden muss, um Arbeitsspitzen, aber auch mangelhafte Auslastung zu vermeiden, und dass möglicherweise sehr lange Beprobungszyklen (z. B. 20 Jahre) dazu führen könnten, dass das Programm „abreißt“.

Mit Fortdauer der BDF-Programms nimmt die Komplexität der möglichen Auswertungen zu, auch werden nichtlineare Veränderungen immer wahrscheinlicher, z. B. können die Humusgehalte zeitweise abnehmen, um sich dann auf einem neuen Niveau zu stabilisieren. Änderungen in der Bewirtschaftung lösen neue Dynamiken im Boden aus. Der Einsatz komplexer Modellierungen wird immer sinnvoller, verlangt aber entsprechende Spezialkenntnisse, die

durch Kooperation mit Forschungseinrichtungen verfügbar gemacht werden können. Diese Kooperationen können dann auch genutzt werden, um anhand der Bodendauerbeobachtung empirisch gewonnene Erkenntnisse durch wissenschaftliche Untersuchungen zu untermauern und Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu klären.

Die Bereitstellung von Daten aus der Bodendauerbeobachtung wird zukünftig, nicht allein aufgrund der INSPIRE-Richtlinie (EG 2007), an Bedeutung gewinnen, wobei die komplexe Struktur und die Einbeziehung von Bewirtschaftungsdaten in der Bodendauerbeobachtung besondere Anforderungen an die Standardisierung der Datenbereitstellung stellen werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die an der Bodendauerbeobachtung beteiligten Landeigentümer und -besitzer ihre Flächen freiwillig zur Verfügung stellen und daher sichergestellt werden muss, dass die Datenbereitstellung keine nachteiligen Auswirkungen für sie hätte (Artikel 13).

Nicht zuletzt wäre es interessant, die Erkenntnisse aus der Bodendauerbeobachtung zum Grundgerüst eines Bodenzustandsberichtes zu machen. Die Ergebnisse der zeitlichen Veränderungen an den punktuell intensiv und langjährig untersuchten BDF könnten dann unter Verwendung von Bodenkarten und thematisch eingegrenzten, aber in höherer Beprobungsdichte durchgeführten Monitoringprogrammen (BZE) in die Fläche übertragen werden. Hierfür sind jedoch weitere Untersuchungen und vor allem Ressourcen erforderlich.

## 1.10. Literatur

- AHRENDTS, B., SCHELER, B., WAGNER, M., FLECK, S., FORTMANN, F. & MEESENBURG, H. (2021): Trends der Nährstoffbilanzen forstlich genutzter Intensiv-BDF in Niedersachsen. – GeoBerichte (dieser Band, Kap. 3).
- BARTELS, F., DASCHKEIT, A., FRÄNZLE, O., KASKE, A., KERRINNES, A., SCHMIDT, G., SCHRÖDER, W. & STECH, C. (1998): Organisation und Methodik eines Bodenmonitorings. – Forschungsbericht 207 06 007, UBA-FB **98-028**, 35 S.
- BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T. et al. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & EINSELE, G. (Hrsg.): Bodenschutz, Ergänzbares Loseblattsammlung, Blatt **9152**, BOS 32, Lfg. XI/00; Berlin (Erich Schmid).
- BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I: 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I: 3465) geändert worden ist. – <<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BJNR050210998.html>>.
- BMEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2020): Am Puls des Waldes: Umweltwandel und seine Folgen - ausgewählte Ergebnisse des intensive forstlichen Umweltmonitorings. – Bearb.: KRÜGER, I., SANDERS, T., SCHAD, T., SCHMITZ, A., STRICH, S., mit Beiträgen von: ANDRAE, H., EICKENSCHIED, N., DAMMANN, I., MEESENBURG, H., DIETRICH, H.-P., RASPE, S., HASSDENTEUFEL, M., HÖLSCHER, A., RUSS, A. & SCHRÖCK, H.-W.; Bonn (BMEL), <[www.bmel.de](http://www.bmel.de)>.
- BUG, J., ENGEL, N., GEHRT, E. & KRÜGER, K. (2019): Schutzwürdige Böden in Niedersachsen. Arbeitshilfe zur Berücksichtigung des Schutzgutes Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren. – 4. überarb. Aufl., GeoBerichte **8**: 56 S., 25 Abb., 5 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).
- BWALDGESETZ (1975): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft vom 2. Mai 1975 (BGBl. I: 1037), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Januar 2017 (BGBl. I: 75) geändert worden ist. – <<https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BJNR010370975.html>>.
43. BImSchV (2018): Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion der Emissionen bestimmter Luftschadstoffe vom 18. Juli 2018. – BGBl. I: 1222, <[https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_43/BJNR122210018.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_43/BJNR122210018.html)>.
- EG (2007): Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE). – Amtsblatt der Europäischen Union **L 108/1**.
- ELLENBERG, H., MAYER, R. & SCHAUERMANN, J. (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung: Ergebnisse des Solling-Projekts. – Stuttgart (Ulmer).
- EVERS, J., DAMMANN, I., KÖNIG, N., PAAR, U., STÜBER, V., SCHULZE, A., SCHMIDT, M., SCHÖNFELDER, E. & EICHHORN, J. (2019): Waldbodenzustandsbericht für Niedersachsen und Bremen - Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). – Beitr. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt **19**.
- FORTMANN, H. & MEESENBURG, H. (2007): Organische Schadstoffe in Waldböden Niedersachsens - Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. – GeoBerichte **4**: 91 S., 53 Abb., 29 Tab.; Hannover (LBEG).
- FORTMANN, H. & MEESENBURG, H. (2009): Radioaktives Cäsium in Waldböden Niedersachsens - 20 Jahre nach Tschernobyl. Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. – GeoBerichte **11**: 56 S., 28 Abb., 5 Tab.; Hannover (LBEG).
- FORUMV-AG – BUND-LÄNDER-AG ZUR UMSETZUNG DER VERORDNUNG ÜBER ERHEBUNGEN ZUM FORSTLICHEN UMWELTMONITORING: EICHHORN, J., BOLTE, A., CHMARA, I., DIETRICH, H.-P., FLECK, S., GEHRMANN, J., KIRCHNER, T., KÖNIG, N., MEESENBURG, H., RASPE, S., SCHMIDTKE, H., SCHÜTZE, G., STRICH, S. & SUKOPP, U. (2016): Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland: Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring. – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.), 40 S.

- GEHRT, E. (2021): Bodenkundliche Beschreibung und Repräsentanz der BDF 30 Jahre nach Einrichtung. – *GeoBerichte* (dieser Band, Kap. 2).
- GEHRT, E. & GENSIOR, A. (2019) Landesweite bodenkundliche Messnetze und Bodenkarten in Niedersachsen. – In: Jahrestagung der DBG/BGS Erd-Reich und Boden-Landschaften, 24.–27. August 2019, Bern, Schweiz, <<http://eprints.dbges.de/1837/>>.
- HFA (2009): Handbuch Forstliche Analytik: Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. – Hrsg. Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 4. Ergänzung Juni 2009.
- HÖPER, H. (2021): Veränderungen der Gehalte und Vorräte an organischer Substanz im Boden der landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – *GeoBerichte* (dieser Band, Kap. 4).
- HÖPER, H. & KLEEFISCH, B. (2001): Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. – *Arb.-H. Boden* 2001/4: 94 S., 46 Abb., 28 Tab.; Hannover (NLfB).
- HÖPER, H. & MEESENBERG, H. (Hrsg.) (2012): Tagungsband 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. – *GeoBerichte* 23: 256 S., 172 Abb., 43 Tab., 4 Anh.; Hannover (LBEG).
- HUSCHEK, G. & KRENGEL, D. (2004): Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder. – *UBA-Texte* 50/04: 1–109.
- 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 S., Thünen Rep. 64, [DOI:10.3220/REP1542818391000].
- JANKOWSKI, A. (2012): Grundwassergüte. – In: HÖPER, H. & MEESENBERG, H. (Hrsg.): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. – *GeoBerichte* 23: 175–192, 10 Abb., 6 Tab.; Hannover (LBEG).
- KAMERMANN, D., GROH, H. & HÖPER, H. (2015): Schwermetallein- und -austräge niedersächsischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – *GeoBerichte* 30: 56 S., 4 Abb., 29 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).
- KAUFMANN-BOLL, C., LAZAR, S., SCHILLI, C. & RINKLEBE, J. (2011). Auswertung der Veränderungen des Bodenzustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze. Teil A: Methoden-Code und Umgang mit Verfahrenswechseln. – *UBA-Texte* 89/2011; 1–339, <<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4232.pdf>>.
- KAUFMANN-BOLL, C., MAKOWSKY, L. & MÜLLER, F. (2019). Boden-Dauerbeobachtung im urbanen Bereich für umwelt- und klimaschutzbezogene Fragestellungen im Rahmen der Stadtentwicklung und Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht der Projekte B 5.18 und B 3. – Geschäftsführende Stelle für das Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“, Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, 1–114.
- KAUFMANN-BOLL, C., NIEDERSCHMIDT, S., BAMMINGER, C., KASTLER, M., MÜLLER, F., WURBS, D. & STEININGER, M. (2020): Konzeption eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbundes. – *UBA-Texte* 41/2020: 1–125.
- KEUFFEL-TÜRK, A. B., SCHELER, B., HÖPER, H., AHREND, B. & MEESENBERG, H. (2021): Stoffeinträge durch Deposition. – *GeoBerichte* (dieser Band, Kap. 14).
- KLEEFISCH, B. & KUES, J. (Koord.) (1997): Das Bodendauerbeobachtungsprogramm von Niedersachsen. Methoden und Ergebnisse. – *Arb.-H. Boden* 1997/2: 3–108, 40 Abb., 38 Tab., 1 Anl.; Hannover (NLfB).
- KNACKSTERDT, C., HÖPER, H. & GROH, H. (2021): Gehalte und Vorratsänderungen von Schwermetallen im Oberboden der ackerbaulich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – *GeoBerichte* (dieser Band, Kap. 8).
- KORTE, K., ENGELKE, L., GROH, H., SEVERIN, K. & HÖPER, H. (2019): Bewirtschaftung und Nährstoffbilanzen der landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Nieder-



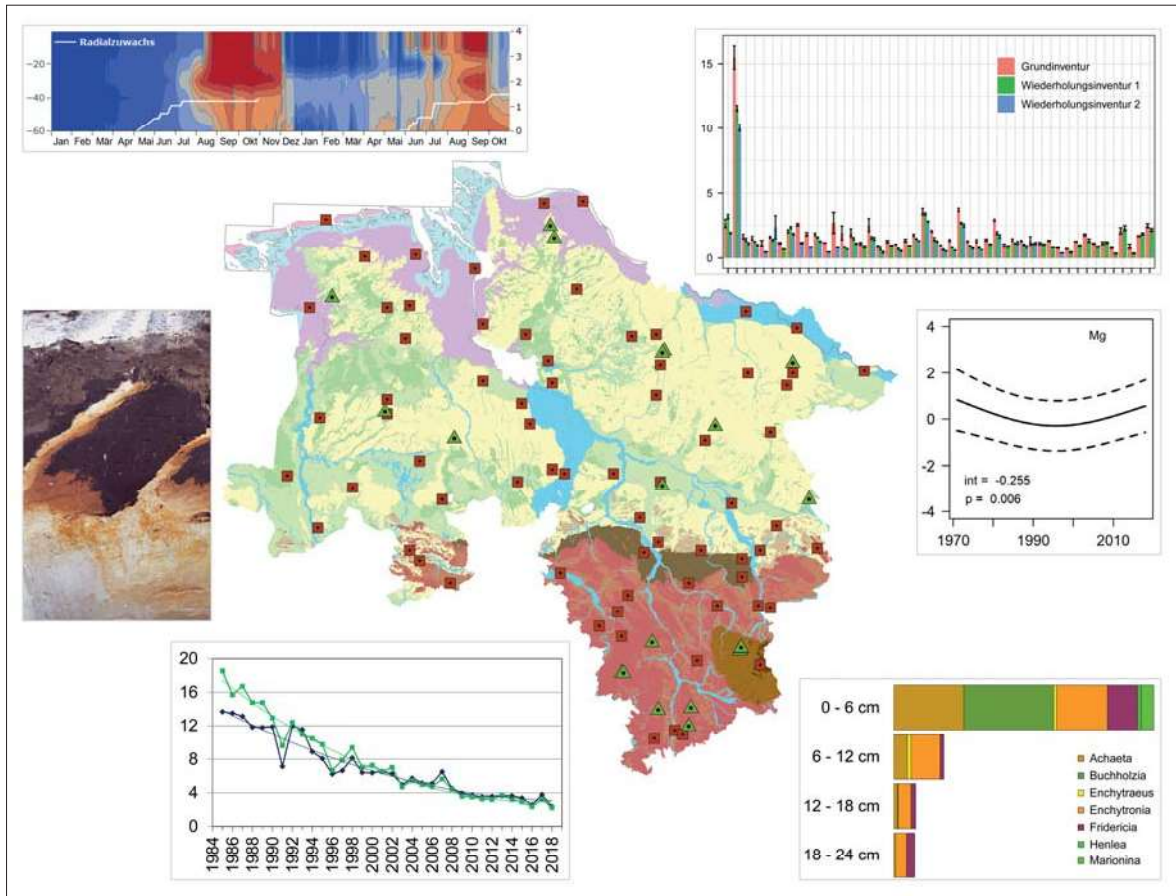


- NLFB – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (2001): 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Ein Leitinstrument für integrierte Umweltbeobachtung und Politikberatung. – Tagungsband zur Fachtagung mit Exkursion am 17. und 18.10.2001 in Bremen; Hannover (NLfB).
- NLFB – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.) (2005): Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen – Standortbeschreibung und Baseline. – Access-Anwendung auf CD-ROM; Hannover (NLfB).
- RASPE, S., BASTRUP-BIRK, A., FLECK, S., WEIS, W., MAYER, H., MEESENBURG, H., WAGNER, M., SCHINDLER, D. & GARTNER, K. (2013): Meteorology. – In: FERRETTI, M. & FISCHER, R. (eds.): Forest Monitoring: Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. – Developments in Environmental Science **12**: 319–336; Amsterdam (Elsevier) [ISBN: 978-0-08-098222-9], [DOI:10.1016/B978-0-08-098222-9.00017-0].
- REGIERUNGSKOMMISSION KLIMASCHUTZ (2012): Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover, 221 S., <<https://www.umwelt.niedersachsen.de/download/100543>>.
- SAG – SONDERARBEITSGRUPPE INFORMATIONSGRUNDLAGEN BODENSCHUTZ DER UMWELTMINISTERKONFERENZ (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen - Bericht der UAG „Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Auftrag der SAG „Informationsgrundlagen Bodenschutz“. – Bayer. Staatministerium f. Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.): Arbeitshefte Bodenschutz **1**, 56 S.; München.
- STEINHOFF-KNOPP, B. (2021a). Jährliche Variabilität und räumliche Muster der Bodenerosion - Erkenntnisse aus der niedersächsischen Bodenerosionsdauerbeobachtung. – GeoBerichte (dieser Band, Kap. 17).
- STEINHOFF-KNOPP, B. (2021b): Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen: 20 Jahre Monitoring von Bodenerosion durch Wasser. Bericht für den Zeitraum 2000 bis 2019. – GeoBerichte [in Vorbereitung].
- ULRICH, B. (1994): Nutrient and acid/base budget of central European forest ecosystems. – In: HÜTTERMANN A. & GODBOLD D. L. (Hrsg.): Effects of acid rain on forest processes. Acid Rain on Forest Processes; New York (Wiley): 1–50.
- WELLBROCK, N. & BOLTE, A. (Hrsg.) (2019): Status and dynamics of forests in Germany: Results of the National Forest Monitoring. – Ecol. Studies **237**, <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0>>.

# GeoBerichte 39



LANDESAMT FÜR  
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



## 30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen



Niedersachsen



## **GeoBerichte 39**

Landesamt für  
Bergbau, Energie und Geologie

### **30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen**

HEINRICH HÖPER & HENNING MEESENBURG  
(Hrsg.)

Hannover 2021

## Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2  
30655 Hannover  
Tel. (0511) 643-0  
Fax (0511) 643-2304

Download unter [www.lbeg.niedersachsen.de](http://www.lbeg.niedersachsen.de)

1. Auflage.

Version: 29.09.2021

Redaktion: Ricarda Nettelmann

Mail: [bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de](mailto:bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de)

Titelbild: BDF auf Bodengroßlandschaften, Deposition Sulfat, Profilgrube L056MEIN, Radialzuwachs Fichte, Organika BDF-L, Nährstoffbilanz Mg, Bodenfauna (Collage: H. Höper, LBEG).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober\_39\_2021