

1 Das Bodendauerbeobachtungsprogramm

HEINRICH HÖPER & HENNING MEESENBURG

1.1 Einleitung

Das niedersächsische Bodendauerbeobachtungsprogramm wurde 1990 eingerichtet, als es noch keine rechtsverbindlichen Regelungen zum umfassenden Bodenschutz gab. Allerdings hatte die Bundesregierung in der Bodenschutzkonzeption von 1985 (BMI 1985) alle bedeutenden Einwirkungen auf den Boden zusammengefasst und bewertet sowie Leitlinien des Bodenschutzes formuliert. Als grundlegende Voraussetzung für den Bodenschutz wurde die Verfügbarkeit gesicherter Daten zu Bodenbelastungen und zu Bodenzuständen einschließlich deren Veränderungen über die Zeit betrachtet. Dazu wurde die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen als notwendig erachtet.

Am 26.04.1986 explodierte ein Kernreaktor in Tschernobyl, Ukraine, und eine radioaktive Wolke zog über Deutschland hinweg (KAUL 1988). Es wurde deutlich, dass eine Bewertung dieses Ereignisses zum einen nur anhand von Informationen über den Status von Umwelt und Boden vor der Katastrophe möglich war und zum anderen die kurzfristige Einführung eines Umweltmonitorings erforderlich machte.

Dazu kamen die Beobachtungen über neuartige Waldschäden, die mit negativen, in der Regel sehr langsam verlaufenden Bodenveränderungen (vor allem Versauerung) in Verbindung gebracht wurden (ULRICH 1987). Diese Erkenntnisse waren durch die Einrichtung erster forstlicher Dauerbeobachtungsflächen (u. a. Solling) in den 1960er Jahren begünstigt worden (ULRICH 1993). Erst durch einen langfristig und umfassend angelegten Untersuchungsansatz konnten schleichende Entwicklungen verfolgt und Interaktionen zwischen den verschiedenen Ökosystemkomponenten aufgezeigt werden.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde vom niedersächsischen Kabinett 1990 die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen, in Niedersachsen als drittem Bundesland nach Bayern und Baden-Württemberg, beschlossen.

Angesichts der zentralen Stellung des Bodens wurde ein umfassender Ansatz gewählt. Dieser beinhaltet die Erfassung der Stoffein- und -austräge durch Nutzung und Deposition, stoffliche und nicht-stoffliche Veränderungen des Bodens, vegetationskundliche und bodenbiologische Untersuchungen sowie die Einbeziehung von Sicker- und Grundwasser.

Erst acht Jahre nach diesem Kabinettsbeschluss traten 1998 das Bundesbodenschutzgesetz (BBODSCHG 1998) und wenig später das niedersächsische Bodenschutzgesetz (NBODSCHG 1999) in Kraft. Seitens der EU-Kommission wurde 2006 die „Thematische Strategie für den Bodenschutz“ veröffentlicht (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2006). Darin wurden folgende Risiken für Böden beschrieben: Erosion, Verlust organischer Substanz(en), Versalzung, Verdichtung, Erdbeben, Kontamination und Versiegelung.

Als weiteres Risiko wird der Verlust an biologischer Vielfalt angesehen. Hier wurde jedoch davon ausgegangen, dass dieses Risiko durch Maßnahmen in den anderen Risikobereichen ausreichend abgedeckt wird.

Die Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen berücksichtigt die meisten, aber nicht alle der o. a. Risiken. Versalzung spielt in Niedersachsen keine Rolle, die Frage der Erdbeben sowie der Versiegelung kann auf den Flächen nicht annähernd repräsentativ behandelt werden. Bezüglich der Erosion wurde ein Ansatz gewählt, der über die Bodendauerbeobachtungsfläche im engeren Sinne räumlich weit hinausgeht (s. u.). Zur Kontamination wird mit der Bodendauerbeobachtung der diffuse Aspekt der großräumigen Stoffeinträge, durch Deposition oder durch Landnutzung, abgedeckt.

Angesichts des umfassenden und integrativen Ansatzes kann und soll die Bodendauerbeobachtung nicht nur im Bereich des vorsorgenden Bodenschutzes wertvolle Dienste leisten. Es werden Informationen über die zeitliche Entwicklung der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung im Hinblick auf die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit gewonnen. Auch lässt sich der Zusammenhang zwischen Boden, Landnutzung und (Grund-)Wasserqualität im Hinblick auf die Umsetzung der EG-Wasser-Rahmenrichtlinie unter Praxisbedingungen darstellen. Des Weiteren gibt es über die Untersuchungen an Ernteprodukten und Düngemitteln eine Anbindung an den Verbraucherschutz und

das Futtermittelrecht. Nicht zuletzt lassen sich auf naturnahen Flächen auch Zusammenhänge zwischen Boden und Vegetationsentwicklung über lange Zeiträume verfolgen. Angesichts der prognostizierten Klimaveränderungen stellen die Bodendauerbeobachtungsflächen ein ideales Instrument dar, um die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Witterung, Landnutzung, Boden, Vegetation und Wasser unter Praxisbedingungen zu verfolgen.

Eine Darstellung des niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsprogramms erfolgte bereits durch KLEEFISCH & KUES (1997). Dennoch wird im Folgenden erneut eine umfassende Beschreibung des Programms vorgenommen, um den aktuellen Stand zu dokumentieren und dem Leser die Grundlage für die in den folgenden Kapiteln dargestellten Sachverhalte bereitzustellen.

1.2 Gesetzliche Grundlagen

Das niedersächsische Bodendauerbeobachtungsprogramm wurde mit Kabinettsvorlage vom 05.01.1990 und mit Kabinettsbeschluss vom 16.01.1990 eingerichtet. Gesetzlich ist der Unterhalt von Dauerbeobachtungsflächen im § 8 des NBODSCHG (1999) geregelt. Hiernach führt das Land das Niedersächsische Bodeninformationssystem (NIBIS[®]). Im NIBIS[®] werden „die von den staatlichen oder sonstigen öffentlichen Stellen erhobenen Daten aus Untersuchungen über die physikalische, chemische und biologische Beschaffenheit des Bodens“ sowie „die Daten der Bodendauerbeobachtungsflächen und anderer vom Land eingerichteter Versuchsflächen“ zusammengeführt und als Entscheidungsgrundlage für Zwecke des Bodenschutzes bereitgestellt.

Selbst wenn die Einrichtung eines Bodendauerbeobachtungsprogramms nicht explizit im NBodSchG festgelegt wird und nichts über den Umfang eines solchen Programms gesagt wird, ergibt sich jedoch im Hinblick auf den Nutzen der Daten Folgendes:

- Nur aktuelle und repräsentative Daten können eine Entscheidungsgrundlage für Fragestellungen des Bodenschutzes darstellen, wodurch ein hinreichender Umfang des Programms und eine stetig zu aktualisierende Erhebung der Daten zu fordern sind.

- Die Besonderheit der Daten aus der Bodendauerbeobachtung im Vergleich zu Daten aus anderen Erhebungen wird *expressis verbis* hervorgehoben. Dies bezieht sich auf den umfassenden sowie auf den langfristigen Charakter der Bodendauerbeobachtung und auf die Möglichkeit, durch Zeitreihenbetrachtungen schleichende Veränderungen diagnostizieren zu können. Im Kabinettsbeschluss sind diese Ziele eindeutig formuliert.

1.3 Zielsetzung/Fragestellungen

In der Anlage zum Kabinettsbeschluss der niedersächsischen Landesregierung vom 16.01.1990 sind die Ziele der Bodendauerbeobachtung wie folgt definiert:

An flächen- und bodenrepräsentativen Stellen soll der Status quo von Eigenschaften und Belastungssituationen von Böden festgestellt und durch Bodeninput- und -outputuntersuchungen Daten über langfristige Veränderungen gewonnen werden.

Die BDF „dienen

- der Erfassung der langfristig standort-, belastungs- und nutzungsbezogenen Einflüsse,
- der Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz des Bodens in seiner Substanz und seinen vielfältigen Funktionen
- als Eichstelle, z. B. in Katastrophenlagen (siehe Tschernobyl).“

Im Laufe der Jahre hat sich ein umfangreicher Katalog von konkreten Fragestellungen an Daten aus der Bodendauerbeobachtung entwickelt, wie die folgende, unvollständige Übersicht zeigt:

Bodenschutz

- Typische (Nähr- und) Schadstoffgehalte in Böden, Hintergrundwerte,
- Typische Gehalte an organischer Substanz im Boden,
- An- oder Abreicherung von Schadstoffen im Boden infolge land- und forstwirtschaftlicher Nutzung oder diffuser Einträge, z. B. aus der Atmosphäre,

- Entwicklung der Radioaktivität nach Tschernobyl,
- Bodenversauerung und Mobilität von Nähr- und Schadstoffen,
- Entwicklung der biologischen Aktivität,
- Entwicklung von Strukturparametern (z. B. Veränderung der Bodendichte oder des Porenvolumens), Verdichtungsanfälligkeit der Böden, Unterbodenverdichtung,
- Bodensubstanzverluste durch Wind- und Wassererosion oder durch Torfmineralisation, Streuauf- und -abbau in Waldböden.

Landnutzung

- Praxisnahe Bilanzen von Nähr- und Schadstoffen unter land- oder forstwirtschaftlicher Bodennutzung,
- Humusbilanzen und Entwicklung der Gehalte an organischem Kohlenstoff,
- Entwicklung des Fruchtartenspektrums und der Erträge,
- Auswirkungen der Anwendung von Siedlungsabfällen (Klärschlamm, Kompost, Gärsubstrate) auf die Böden,
- Bodenfruchtbarkeit, Entwicklung der Gehalte an verfügbaren Nährstoffen im Boden.

Wasserqualität

- Auswirkungen der Landnutzung auf die Grundwasserqualität,
- Austräge von Nährstoffen, Schwermetallen oder Pflanzenschutzmitteln mit dem Sickerwasser,
- Vorkommen von Tierarzneimittelwirkstoffen im Sickerwasser,
- Stoffeinträge in Oberflächengewässer.

Klimafolgen

- Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die Böden, vor allem Gehalt an organischer Substanz, Bodenwasser,
- Auswirkungen auf die Vegetation (vor allem Forst).

Vegetation

- Auswirkungen der Veränderung von Bodeneigenschaften und der Bodennutzung auf die Vegetationszusammensetzung,
- Auswirkung des Verzichts auf Pflanzenschutzmittel auf die Vegetation im Ökolandbau im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft.

Auf eine Vielzahl der o. a. Fragen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen. Die Bodendauerbeobachtung bietet durch die umfassende Datenerhebung umfangreiche Möglichkeiten der Datenverknüpfung

1.4 Standorte

Die Auswahl der Standorte erfolgte nach fachlicher Repräsentanz anhand folgender Auswahlkriterien:

- Bodentyp,
- Ausgangsgestein (Substrat),
- Klima (Klimaregionen),
- Relief (naturräumliche Kriterien),
- Nutzung (Acker, Grünland, Forst, Brache),
- Belastung (Lage in Ballungsgebieten, Immissionsgebieten, Gebieten mit hohem Viehbesatz, erosionsgefährdeten Gebieten, Wasserschutzgebieten, Naturschutzgebieten),
- Ökosystemtyp (Forst: Bestand und Alter).

Es wurden 90 BDF eingerichtet, 20 Forst-BDF (BDF-F) und 70 vorwiegend landwirtschaftlich genutzte BDF im Freiland (BDF-L). Abbildung 1.1 gibt einen Überblick über die Lage der Flächen in Niedersachsen vor dem Hintergrund der Bodengroßlandschaften.

Die BDF lassen sich je nach Nutzung und Belastungstyp zu folgenden Kategorien zuordnen (Tab. 1.1). Anhang 1 gibt einen Überblick über wesentliche Nutzungs-, Belastungs- und Standortcharakteristika der BDF.

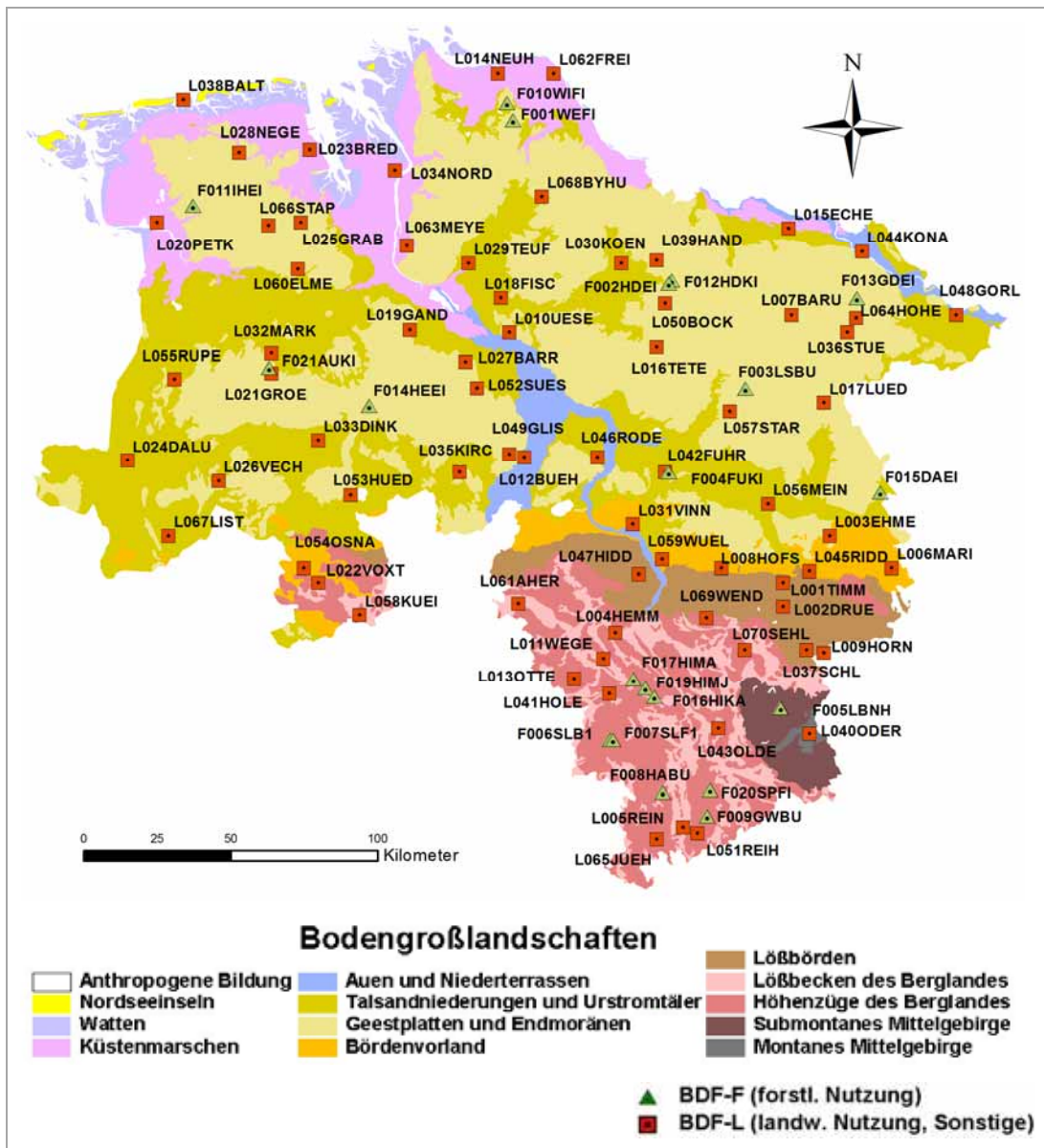


Abb. 1.1: Lage der Bodendauerbeobachtungsflächen in den Bodengroßlandschaften Niedersachsens.

Tab. 1.1: Klassifizierung der BDF-L nach Nutzung, Belastung und Lage in Naturschutzgebieten (NSG) bzw. Naturparks und Wasserschutzgebieten (WSG).

1.	BDF nach Nutzung	Anzahl
1.1	Ackerland, davon konventionelle Landwirtschaft ökologische Landwirtschaft	48 42 6
1.2	Grünland, davon Wiese oder Mähweide intensiv (3–4 Schnitte) Wiese oder Mähweide extensiv (1–2 Schnitte) Weide, eher extensiv	16 4 7 5
1.3	naturnahe Flächen, davon Wiese/Weide, gelegentlich genutzt ungenutzt	5 3 2
1.4	Siedlung (Stadtspark)	1
1.5	Forstliche Nutzung, davon Buche Eiche Fichte Kiefer Douglasie	20 4 5 7 3 1
2	BDF-L nach Belastung	Anzahl
2.1	keine besondere Belastung (Referenzfläche)	51
2.2	Gebiete mit siedlungs-, verkehrs- oder industriebürtiger Belastung, Stadtböden	6
2.3	Auenstandorte mit schadstoff- haltigen Sedimenten	2
2.4	Flächen mit Ausbringung von Siedlungsabfällen	4
2.5	Gebiete mit erhöhtem Einsatz an Wirtschaftsdüngern	2
2.6	erosionsgefährdete Flächen	4
2.7	Fläche mit ackerbaulicher Moornutzung	1
3.	BDF-L in NSG oder WSG	Anzahl
3.1	weder NSG noch WSG	49
3.2	WSG	12
3.3	NSG	4
3.4	NSG und WSG	5
4.	BDF-F nach Schutzstatus	Anzahl
4.1	kein Schutzstatus	7
4.2	WSG	6
4.3	Natura 2000, NSG und/oder Naturwald	4
4.4	multipler Schutzstatus	3

1.5 Methodik – Untersuchungsprogramm

Die Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen orientiert sich an den bundesweit harmonisierten Methoden nach BARTH et al. (2001). Für die forstlich genutzten BDF finden aufgrund der Einbindung in das Europäische Intensive Waldmonitoring (ICP Forests) auch Methoden des ICP Forests (UNECE 2010) Anwendung.

1.5.1 BDF und Teilflächen

Eine Bodendauerbeobachtungsfläche ist eine 1 ha große Fläche, die nach einer bodenkundlichen Feinkartierung im 25-m-Raster in ein mehrere Hektar großes Flurstück gelegt wurde. Für die Grundinventur bei der Einrichtung wurde in der Nähe der Bodendauerbeobachtungsfläche eine Grube angelegt, eine detaillierte Bodenansprache vorgenommen sowie horizontbezogen gestörte und ungestörte Bodenproben (Stechzylinder) entnommen. Innerhalb der Bodendauerbeobachtungsfläche wurden vier Kernflächen (KF) von 256 m² festgelegt, eingemessen und mit Magneten unterirdisch vermarktet. Auf Flächen mit hoher Beprobungsintensität, z. B. für N_{min}-Untersuchungen, wurde um die Kernflächen ein 2 m breiter N_{min}-Rahmen angelegt, der anstelle der Kernfläche beprobt wird. So soll der Eingriff in den Boden auf der Kernfläche begrenzt werden. Die Profilbeprobung (bis 1 m Tiefe) bei der Wiederholungsinventur auf den landwirtschaftlich genutzten BDF findet auf dem Kernflächenrahmen (KFR) im Abstand von 3 m um die Kernflächen herum statt.

Bei den BDF-F ist auf der ca. 1 ha großen Fläche eine Kernfläche von 0,25 ha (50 x 50 m) angelegt, auf der weitgehend zerstörungsfreie Erhebungen wie ertragskundliche Messungen, Kronenansprache, Depositions- und Streufallmessungen stattfinden. In der Randzone werden auch Erhebungen durchgeführt, die stärkere Eingriffe in den Boden oder den Waldbestand beinhalten (Profilgrube, Nadel-/Blattprobenahme, Bodenlösungsgewinnung).

1.5.2 Bewirtschaftung

Die Bodendauerbeobachtungsfläche wird ebenso wie das gesamte Flurstück vom Eigentümer oder Besitzer bewirtschaftet. Es erfolgen keine besonderen Auflagen seitens des Programms. Damit soll sichergestellt werden, dass die Bewirtschaftung ortsüblich und standortangepasst erfolgt. Der Bewirtschafter führt eine Schlagkartei mit allen Angaben zur Bewirtschaftung, vor allem Bodenbearbeitung, Saat, angebaute Kulturen, Sorten, Erträge, Art und Menge der aufgebrauchten organischen und mineralischen Dünge- und Pflanzenschutzmittel. Die Angaben werden von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen geprüft und in einer Datenbank zusammengeführt. Einmalig wurde die Nutzungsgeschichte erhoben, vor allem im Hinblick auf vergangene Umnutzungen sowie Meliorations- und wasserregulierende Maßnahmen.

Die BDF-F werden nach den Regeln einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft bewirtschaftet. Alle forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen werden dokumentiert. Dies beinhaltet die Entnahme von Bäumen im Zuge von Durchforstungen oder Endnutzungsmaßnahmen sowie die Erfassung der natürlichen oder schadsbedingten Mortalität. Die bewirtschaftungsbedingte Stoffzufuhr durch Kalkungen oder ähnliches wird nach Zeitpunkt, Stoffzusammensetzung und -menge erfasst.

Unter Naturschutz stehende Flächen werden gemäß Schutzzweck und den dafür erforderlichen Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen bewirtschaftet.

1.5.3 Intensität der Untersuchungen

Bezüglich der Intensität der Untersuchungen werden Standard- und Intensiv-BDF (BDF-I) unterschieden. Das Standardprogramm, das auf allen BDF durchgeführt wird, umfasst die Bodenuntersuchungen im Rahmen von Inventuren (s. u.) sowie Ertragsermittlung und Analytik von Pflanzeninhaltsstoffen im Erntegut. Proben von Klärschlamm, Komposten und Gärsubstraten werden, sowie sie auf BDF eingesetzt werden, ebenfalls standardmäßig untersucht. Auf landwirtschaftlich genutzten BDF-I sind darüber hinaus meteorologisch-hydrologische Messstationen zur Gewinnung von Daten für Wasserhaushaltsberechnungen und

Saugsondenanlagen zur Gewinnung von Sickerwasser installiert. Außerdem werden zwei bis dreimal jährlich, im zeitigen Frühjahr, zur Ernte und im Herbst vor Beginn der Sickerwasserperiode, N_{\min} -Untersuchungen durchgeführt.

Darüber hinaus gibt es Sonderprogramme, u. a. zur Erfassung der Schwermetallein- und -austräge (23 BDF), zur Wind- und Wassererosion (4 BDF) oder zum Verbleib von Tierarzneimittelwirkstoffen im Boden (1 BDF).

Auf forstlich genutzten BDF-I werden alle wesentlichen Größen zur Erfassung der Wasser- und Stoffflüsse erhoben. Dazu gehören die Messung der atmosphärischen Deposition (jeweils Freiflächen- und Bestandesniederschlag), die Bodenlösungsentnahme, Streufallmessungen sowie meteorologisch-bodenhydrologische Messstationen für die Wasserhaushaltssimulation.

1.5.4 Art und Frequenz der Untersuchungen

Grundinventur (einmalig)

Bei der Einrichtung der BDF erfolgte eine Grundinventur. Es wurde sowohl eine flächenbezogene (Flächenproben) als auch eine horizontbezogene Probenahme (Profilproben) vorgenommen. In der Fläche wurden die vier Kernflächen getrennt beprobt. Die Probenahme erfolgt unter gepflügtem Acker in 0–20 cm Tiefe, unter Grünland in 0–5 und 5–20 cm Tiefe. In der Grube (s. o.) wurde eine horizontbezogene Probenahme bis in über 1 m Tiefe vorgenommen.

Wiederholungsinventuren (alle zehn Jahre)

In den Wiederholungsinventuren werden im Abstand von ca. zehn Jahren ebenfalls flächen- und horizontbezogenen Proben genommen und analysiert. Die flächenbezogene Probenahme findet auf den vier Kernflächen mit Probenahmetiefen in Anlehnung an die BBodSchV (gepflügter Acker 0–20 cm (Ap-Horizont), Grünland 0–10 und 10–20 cm) statt. In der ersten Wiederholungsinventur (2000–2010) wurde im Grünland die Schicht 0–5 cm zusätzlich beprobt. Für die horizontbezogene Probenahme werden je Kernfläche vier Rammkerne 0–

1 m tief im KFR gewonnen, bodenkundlich angesprochen und unterhalb des Ap-Horizontes (Acker) bzw. unterhalb von 20 cm Tiefe (Grünland) beprobt. Hierzu werden die Materialien der vier Rammkerne horizontweise zu einer Mischprobe zusammengeführt. Geringmächtige (< 5 cm) oder nur in einzelnen Rammkernen auftretende Horizonte werden nicht beprobt. Horizontober- und -untergrenzen werden als Mittelwerte aus den Beobachtungen der vier Rammkerne einer Kernfläche angegeben.

Auf den BDF-F wurden für die Grund- und Wiederholungsinventuren auf einem 10x10-m-Raster nach dem Zufallsprinzip sechs Punkte ausgewählt. Von diesen Punkten ausgehend wurden in Nord-, Ost-, Süd- und Westrichtung in 2,5 m Entfernung jeweils nach Tiefenstufen getrennt Proben entnommen. Die an diesen vier Punkten entnommenen Proben wurden tiefenstufenabhängig zu Mischproben vereinigt. Die Humusaufgabe wurde mit einem Stechrahmen entnommen und in die Humuslagen L, Of und Oh (sofern vorhanden) getrennt. Der Mineralboden wurde bis in 100 cm Tiefe mit einem Bodensäulenzylinder entnommen. Die entnommenen Bodensäulen wurden in die Tiefenstufen 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–50 cm, 50–70 cm und 70–100 cm getrennt.

Zwischeninventuren (alle ein bis fünf Jahre)

Semistabile Parameter, d. h. Parameter, bei denen innerhalb von wenigen Jahren Veränderungen auftreten können, werden häufiger untersucht, als in den Wiederholungsinventuren vorgesehen. In der Regel werden Proben der vier Kernflächen in den Tiefen 0–20 cm (gepflügter Acker) oder 0–10 und 10–20 cm (Grünland, Acker mit Minimalbodenbearbeitung) gezogen. Die Probenahmefrequenz beträgt ein bis drei Jahre für mikrobielle Parameter sowie drei bis fünf Jahre für pH-Wert, pflanzenverfügbare Nährstoffe, organischen Kohlenstoff und Gesamtstickstoff. Auch werden in dreijährigen Zyklen Vegetationsaufnahmen vorgenommen.

Jährliche Untersuchungen/Erhebungen

Bewirtschaftungsparameter werden jährlich aus den Schlagkarteien der Landwirte zusammengestellt. Zu jedem Ereignis werden die Erträge exakt nach der bei BARTELS, GROH &

KLEEFISCH (2000) beschriebenen Vorgehensweise durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen und die LUFA Nordwest erhoben. Von allen Standorten werden Proben des Ernteguts sowie von Ernterückständen, soweit sie von der Fläche abgefahren werden, auf Trockenmasse und Nährstoffe untersucht. Auf 23 Flächen werden zudem die Schwermetallgehalte im Erntegut bzw. in den Ernterückständen bestimmt.

Auf BDF-F werden jährlich (BDF-I) oder zweijährlich (BDF-S) Beerntungen der Blätter bzw. Nadeln durchgeführt, um die Versorgung der Bäume mit Nährstoffen beurteilen zu können. Die Vitalität der Bestände wird durch eine jährliche Erhebung der Kronenverlichtung und durch regelmäßige ertragskundliche Erhebungen beurteilt.

1.5.5 Probenahme – Boden

Proben von Auflagen s. Kap. 1.5.4 bzw. 1.5.6.

Flächenproben

Flächenproben dienen dazu, Gehalte und Vorräte von Stoffen, die über die Bodenoberfläche in den Boden eingetragen und wenig in den Unterboden verlagert werden, möglichst repräsentativ zu erfassen. Auch die organische Substanz, pH-Werte und Pflanzennährstoffe lassen sich am besten über Flächenproben erfassen. Diese werden schichtbezogen, d. h. für festgelegte Probenahmetiefen, vom Oberboden gezogen. Die Probenahme erfolgt häufig mit Hohlkehlbohrern (N_{\min} -Bohrer). Die Proben werden in der Regel als Mischprobe von 16 (Acker) bzw. 24 zufällig verteilten Einstichen von jeder Kernfläche einzeln gewonnen, so dass pro Probenahme und pro Schicht vier Mischproben pro BDF vorliegen und getrennt analysiert werden können.

Bezüglich der N_{\min} -Gehalte (Summe aus Nitrat und Ammonium im Profil) erfolgt eine flächenbezogene Probenahme in festgelegten Schichten bis in 90 cm Tiefe (0–30, 30–60 und 60–90 cm).

Profilproben

Profilproben dienen dazu, die vertikale Verteilung der Bodeneigenschaften bis in 1 m Tiefe zu erfassen. Somit lassen sich Stoffvorräte und Vorratsänderungen im Bereich der effektiven Durchwurzelungstiefe ermitteln. Auch kann gegebenenfalls eine Stofftiefenverlagerung in diesem Abschnitt erfasst werden. Die Profilgrube erlaubt allerdings keine Aussagen über die räumliche Variation der Werte. Profilproben werden während der Grundinventur horizontbezogen aus einer Profilgrube gewonnen. Die Probenahme erfolgt an der Profilwand der Grube.

Flächenprofilproben

Flächenprofilproben werden im Rahmen der Wiederholungsinventuren horizontbezogen gezogen. Dazu werden im Kernflächenrahmen (KFR) jeder Kernfläche vier Rammkerne von 10 cm Durchmesser und 1 m Länge gewonnen und bodenkundlich angesprochen. Dann werden von den Horizonten, die durchgehend über alle Rammkerne vorhanden sind, Mischproben gebildet und analysiert. Es liegen somit je Horizont vier Mischproben von der BDF vor. Darüber hinaus werden statistisch belastbare Informationen über das Vorkommen, die Mächtigkeit und den Tiefenbereich der Horizonte gewonnen. Diese Vorgehensweise erlaubt es, Vorratsänderungen über die Zeit in einzelnen Horizonten sowie im Profil nachzuweisen.

1.5.6 Untersuchungsprogramm

Grund- und Wiederholungsinventuren

Humusaufgabe

- Humusmenge, Humusmächtigkeit (nach Lagen),
pH, N_t, C_{org}, P, Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, A_{Keff},
austauschbare Kationen: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, H⁺, Al³⁺, Fe²⁺, Mn²⁺,
Schwermetalle (Gesamtgehalte),
organische Schadstoffe: CKW, PCB₆, PAK,
radiologisch: Cs.

Flächen- und Profilproben

- bodenchemisch: pH, N_t, C_{org}, P, K, Mg, pflanzenverfügbare P, K, Mg, KAK_{pot} bzw. A_{Keff} (BDF-F),
austauschbare Kationen: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, H⁺, Al³⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ (BDF-F),
Schwermetalle (Gesamtgehalte sowie DTPA, Ammoniumnitratextrakt oder EDTA-Extrakt (BDF-F)),
bodenphysikalisch: Korngrößenanalyse, Rohdichte, k_f, k_u, pF-Kurve, Penetrologermessungen (Unterbodenverdichtung),
radiologisch: Cs-134, Cs-137, K-40.

Flächenproben

- bodenchemisch: organische Schadstoffe: CKW, PCB₆, PAK, Dioxine (2002 nachanalysiert), dl-PCB₄ (dl-PCB₁₂ ab 2006),
bodenmikrobiologisch: mikrobielle Biomasse, Basalatmung.

Pflanzenproben (nur Grundinventur)

- radiologisch: Cs-134, Cs-137, K-40, Zwischeninventuren.

Flächenproben

- bodenchemisch: pH, N_t, C_{org}, P, K, Mg, pflanzenverfügbare P, K (ca. alle 2–4 Jahre).

Vegetationsaufnahmen (alle drei Jahre)

- Kernflächen: Arteninventar, Deckungsgrade, Triebhöhen (BDF-F-I),
BDF/Umfeld: Arteninventar.

Jährliche Untersuchungen

Aufwuchs

- alle BDF-L:
Trockenmasseerträge, chemische Untersuchung des Aufwuchses auf Nährstoffe (N, P, K, Mg),
- potenziell belastete Standorte und Referenzflächen (23 BDF-L):
zusätzlich Schwermetalle (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni und Zn).

Düngemittel

- Klärschlamm nach KSVO, Kompost nach BIOABFVO, Gärsubstrat auf Nährstoffe und Cu, soweit sie auf den Flächen eingesetzt werden.

Flächenproben

- bodenmikrobiologisch: mikrobielle Biomasse, Basalatmung (jährlich bis 2005, danach Acker jährlich, Grünland alle drei Jahre).

BDF-I

Meteorologisch-hydrologische Messstationen

- Witterung: Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung, Boden: Wassergehalte (TDR-Sonden), Saugspannung (Tensiometer), Bodentemperatur (vereinzelt).

Sickerwasserproben (Saugsondenanlagen)

- pH, TC, TIC, N_t, Kationen und Anionen, vierzehntägig im Winterhalbjahr bzw. ganzjährig (BDF-F), Schwermetalle (sieben ausgewählte Flächen), vierzehntägig im Winterhalbjahr bzw. ganzjährig (BDF-F).

Boden- und Düngemittelproben

- Flächenproben: N_{min} bis 0,9 m (KFR), dreimal jährlich,
- Düngemittel: Wirtschaftsdünger auf Nährstoffe und Cu.

1.5.7 Datenbankstruktur

Die Ablage der bodenbezogenen Daten zu den BDF-L erfolgt im NIBIS[®] des LBEG (BARTELS, PLUQUET & SPONAGEL 1991).

- Profildatenbank: Profil- und Horizontparameter aus der bodenkundlichen Standortansprache,
- Labordatenbank: Daten zur Probe, zur Probenlagerung und -behandlung und zur Analytik (Ergebnis, Standardabweichung, Messgenauigkeit, Analyseverfahren),

- Projektdatenbank: Standorte, Beprobungs- bzw. Messorte, Probenahme- bzw. Messverfahren,
- Messwertdatenbank: kontinuierlich gemessene Parameter, Messgeräte,
- Die Bewirtschaftungsparameter werden in einer gemeinsamen Datenbank von Landwirtschaftskammer Niedersachsen und LBEG geführt und können über MS-Access in das NIBIS[®] eingebunden werden.

Die Daten des NLWKN zu Deposition und Grundwasserqualität werden zeitnah in die Landesdatenbank des NLWKN eingestellt. Vegetationsdaten werden in einer Vegetationsdatenbank des NLWKN (BOVEDA) geführt.

Die Daten der BDF-F werden in der Datenbank ECO der NW-FVA verwaltet (HOPPE & SCHULZE 1997). Derzeit beinhaltet die Datenhaltung folgende Erhebungsbereiche:

- Bodenzustand: profil-, horizont- und tiefenstufenkennzeichnende Merkmale sowie Analysenergebnisse,
- Meteorologie/Bodenhydrologie: hochaufgelöste Daten zu Lufttemperatur, relativer Feuchte, Niederschlag, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Matrixpotential, Bodentemperatur, Bodenwassergehalt,
- Deposition: Wassermengen (einzelsammlerbasiert) sowie Analysenergebnisse der Mischproben,
- Bodenlösung: Wassermengen (einzelsammlerbasiert) sowie Analysenergebnisse der Mischproben,
- Streufall: Streufallmengen (kompartiment- und einzelsammlerbasiert) sowie kompartimentbasierte Analysenergebnisse der Mischproben.

Zu allen Erhebungsbereichen werden jeweils Messergebnisse sowie methodenbeschreibende Informationen (Messorte, Geräte-, Installations-, Probenahmeparameter, Analysemethoden, Bestimmungs- und Nachweisgrenzen etc.) mitgeführt (SCHULZE et al. 1999).

1.6 Kooperationspartner

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Das LBEG ist federführend für das gesamte Bodendauerbeobachtungsprogramm. Es koordiniert die Aktivitäten für die landwirtschaftlichen Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF-L) und übernimmt hier auch eigene Aufgaben. So übernimmt es die Standortauswahl und bodenkundliche Ansprache (einschließlich Feinkartierung), die Sicherung und Vermarktung der Flächen und Versuchseinrichtungen, führt die Boden- und Sickerwasserprobenahme und -analytik (mit Ausnahme der Organika) durch, betreibt die bodenkundlich hydrologischen Messstationen und die Saugsondenanlagen auf den Intensiv-BDF und führt alle Daten im NIBIS[®] bzw. in BDF-spezifischen Datenbanken zusammen. Es wertet die Daten aus und stellt den Kooperationspartnern sowie interessierten Forschungseinrichtungen Daten und Proben von BDF zur Verfügung.

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

Die NW-FVA ist mit der Betreuung der Forstlichen Bodendauerbeobachtungsflächen beauftragt. Sie führt alle Erhebungen auf den BDF-F durch. Im Labor der NW-FVA werden alle Analysen der gewonnenen Proben (Ausnahmen: organische Schadstoffe durch die LUFA, radiologische Untersuchungen durch das Isotopenlabor der Universität Göttingen) durchgeführt. Alle Daten der BDF-F werden bei der NW-FVA geführt.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK)

Die LWK ist in stetigem Kontakt mit den Flächenbesitzern, gewinnt N_{\min} -Bodenproben auf den BDF-I, Proben von Düngemitteln sowie Pflanzenmaterial für die Ertragsermittlung und für die Pflanzenanalyse. Sie führt eine Erhebung der Frischsubstanzträge analog der besonderen Erntermittlung durch. Die LWK prüft die Angaben der Landwirte zur Schlagkartei und erfasst die Daten in einer Datenbank. Seit 2007 berechnet die LWK Nährstoffbilanzen nach Düngeverordnung, inzwischen auch rückwirkend bis 1991.

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Der NLWKN ist für die Vegetationsuntersuchungen auf den landwirtschaftlich genutzten BDF zuständig. Auf ausgewählten Offenlandstandorten werden Depositionsmessungen durchgeführt. Darüber hinaus betreibt der NLWKN GÜN-Messstellen im Abstrom von vielen BDF-L und BDF-F. Die Messdaten zur Deposition und zur Grundwasserqualität werden in der Landesdatenbank abgelegt.

Landwirtschaftliche Forschungs- und Untersuchungsanstalt Nord-West (LUFA)

Die LUFA führt bodenchemische Untersuchungen auf Organika (PAK, PCB, CKW, Dioxine und Furane) sowie bodenradiologische Untersuchungen durch. Pflanzenmaterial wird z. T. gedroschen (Getreide), auf Trockenmasse sowie auf Pflanzeninhaltsstoffe (Nährstoffe, Schwermetalle, z. T. organische Schadstoffe) untersucht. Vereinzelt werden radiologische Untersuchungen an Pflanzenmaterial durchgeführt. Darüber hinaus werden Düngemittel analysiert, vor allem Klärschlamm, Kompost und Wirtschaftsdünger.

1.7 Anbindung an andere Monitoring-Programme des Landes

Die Bodendauerbeobachtungsflächen sind gut als boden- bzw. standortbezogene Referenzflächen für ein umfassendes Umweltmonitoring des Landes Niedersachsen geeignet. Ihre Einrichtung und technische Ausstattung lief und läuft daher in enger Kooperation mit weiteren Monitoringprogrammen des Landes.

Gewässer-Überwachungssystem Niedersachsen (GÜN)

Im Rahmen des Gewässer-Überwachungssystems Niedersachsen (MU 2011) wurden, soweit sinnvoll, Messstellen zur Niederschlagsbeschaffenheit und zur Grundwassergüte mit Bezug zu den Bodendauerbeobachtungsflächen eingerichtet (NLWKN 2011).

28 Depositionsmessstellen wurden direkt oder mit Bezug zu BDF-L eingerichtet, wobei spezi-

elle Belastungssituationen, wie Ballungs- bzw. Immissionsgebiete und Gebiete mit hohem Tierbesatz, sowie potenziell eher gering belastete Flächen in Wasser- und Naturschutzgebieten berücksichtigt wurden. An den Messstellen werden monatlich Proben gewonnen und u. a. auf folgende Parameter analysiert: Niederschlagsmenge, pH-Wert, Anionen und Kationen (SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , F^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) und Schwermetalle (Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Cr, Hg).

Es wurden 105 Grundwassergütemessstellen mit Bezug zu 58 BDF, in der Regel im Abstrom der Flächen, eingerichtet. An einigen Standorten wird Grundwasser aus bis zu drei Filtertiefen gewonnen. Die Messstellen filtern in Tiefen zwischen ein und 140 m unter Gelände. Aufgrund der Filtertiefe und aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse (u. a. Vorkommen von Geringleitern, reduzierende Verhältnisse) lässt sich nicht in jedem Fall ein direkter Bezug zwischen der Bewirtschaftung der BDF und den Messergebnissen an der GÜN-Messstelle herstellen. Da jedoch die BDF von ihrer Bewirtschaftung her repräsentativ für einen Landschaftsausschnitt ausgewählt wurden, ist dennoch ein Zusammenhang zwischen lokaler Landnutzung und Grundwasserqualität gegeben. Die GÜN-Messstellen werden etwa zweimal jährlich beprobt, und es werden u. a. folgende Güteparameter gemessen: pH, O_2 , Anionen und Kationen (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , F^- , Borid bzw. Borat), sowie die Schwermetalle Zn, Cu, Pb, Cd, Hg und As.

Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN)

An zwei Forst-BDF erfolgt eine direkte Anbindung an das Lufthygienische Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN). Hier wird die Luftqualität, u. a. in Bezug auf die für Waldökosysteme relevanten Komponenten SO_2 , Stickstoffoxide (NO_2 und NO_x) und Ozon ermittelt (GAA 2011).

Integriertes Mess- und Informationssystem Umweltradioaktivität (IMIS)

Auf allen BDF-Standorten wurden radiologische Untersuchungen an Boden- und Pflanzenproben (Futtermittel) durchgeführt. Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an und in

Kooperation mit dem Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) durch die LUFA Nordwest durchgeführt (Ergebnisse in Kap. 5).

1.8 Einbindung in länderübergreifende Aktivitäten

Obwohl die Bodendauerbeobachtung der Länderhöhe unterliegt, sind länderübergreifende Aktivitäten sinnvoll und erforderlich. Nachdem eine Übereinkunft über die Einrichtung und den Betrieb der Bodendauerbeobachtungsflächen erzielt worden ist (BARTH et al. 2001), stehen jetzt Fragen der länderübergreifenden Auswertung sowie einer Feinabstimmung der Länderprogramme zur Nutzung von Synergieeffekten und zum Schließen von Deckungslücken bezüglich bestimmter Kombinationen aus Standort, Nutzung und Belastung im Vordergrund.

Darüber hinaus werden die Bodendauerbeobachtungsflächen der Länder, aufgrund des umfangreichen Datenvorlaufs, als Ausgangspunkt für Monitoringprogramme der Europäischen Union oder des Bundes genutzt, wie geschehen bei GEMAS (Geochemical Atlas of Agricultural and Grazing Land Soils (BGR 2011)) oder in der Planung bei der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, die im Wesentlichen ein Monitoring der Bodenkohlenstoffvorräte zum Ziel hat (VTI-AK 2011).

Die Bodendaten aus der Dauerbeobachtung der Länder werden im Fachinformationssystem Bodenschutz (bBIS-UBA, UMWELTBUNDESAMT 2011) zusammengeführt, um Berichtspflichten des Bundes im Bereich Boden in Zukunft besser erfüllen zu können. Diese Datenbereitstellung erfolgt im Rahmen eines Verwaltungsabkommens zwischen dem Bund und den Ländern. Dabei wird die Verpflichtung der Länder zur Anonymisierung der Daten berücksichtigt.

BDF-F: Level II, BZE I und II

Die forstlich genutzten BDF sind integraler Bestandteil eines umfassenden forstlichen Umweltmonitorings. Dazu sind sieben der Intensiv-BDF-F gleichzeitig als Level-II-Flächen in das Europäische Intensive Waldmonitoring eingegliedert (UNECE 2010). Das pan-europäische Waldmonitoring wurde von der Europäischen

Union unter dem Programm ForestFocus sowie im Rahmen des LIFE+-Projekts FutMon gefördert. Eine Verdichtung des Intensiven Waldmonitorings erfolgt über die Erhebungen im Rahmen der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE), die bisher zweimal mit den Stichjahren 1989/90 (BZE I) und 2006/07 (BZE II) durchgeführt wurde.

1.9 Quellen

- BARTELS, R., GROH, H. & KLEEFISCH, B. (2000). Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) von Niedersachsen. Beschreibung der anfallenden Feldarbeiten. – 15 S., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover [Unveröff.].
- BARTELS, R., PLUQUET, E. & SPONAGEL, H. (1991): Bodendauerbeobachtungsflächen im Niedersächsischen Bodeninformationssystem. – Geol. Jb. **A 126**: 107–116.
- 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. – In: BACHMANN, G., KÖNIG, W. & UTERMANN, J. (Hrsg.): Bodenschutz. – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser **3**, Kennziffer 9152; Berlin (Erich Schmidt).
- BBODSCHG (1998): Bundesbodenschutzgesetz vom 17. März 1998. – BGBl. I/1998: 502, i. d. F vom 9. Dezember 2004, BGBl. I/2004: 3214.
- BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung in der Fassung vom 12. Juli 1999. – BGBl. I/1999: 1554.
- BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2011): Geochemical Atlas of Agricultural and Grazing Land Soils. – Hannover (BGR), <www.bgr.de>.
- BMI – BUNDESMINISTERIUM DES INNERN (Hrsg.) (1985): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. – Bundestags-Drucksache 10/2977 vom 7. März 1985: 1–229; Stuttgart (Kohlhammer).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006): Thematische Strategie für den Bodenschutz. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 27.09.2006. – KOM **231** endgültig/2: 1–14, <<http://ec.europa.eu/>>.
- GAA – STAATLICHES GEWERBEAUF SICHTSAMT HILDESHEIM (2011): Erläuterungen und Hinweise zu den Daten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN). – 12 S., Staatliches Gewerbeaufsichtsamt; Hildesheim.
- HOPPE, J. & SCHULZE, A. (1997): ECO - Datenbank zur Stoffbilanzierung in Waldökosystemen, Teil 1: Datenbankstruktur und Virtuelle Tabellen. – Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme **B 54**: 1–124.
- KAUL, A. (1988): Consequences of the reactor accident in Chernobyl in the federal republic of Germany: Environmental contamination, radiation protection measures, radiation risk assessment. – Environment International **14**: 83–89.
- 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).
- NBODSCHG (1999). Niedersächsisches Bodenschutzgesetz in der Fassung vom 19. Februar 1999. – Nds. GVBl.: 46.
- NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT-, KÜSTEN UND NATURSCHUTZ (2011): Messnetzkonzeption: „Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen, Güte- und Standmessnetze Grundwasser“. – Reihe Grundwasser [in Vorbereitung].
- MU – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2011): Gewässer-Überwachungssystem Niedersachsen (GÜN). – <<http://www.umwelt.niedersachsen.de>>.
- SCHULZE, A., EVERS, J., HOPPE, J., RUMPF, S. & MEIWES, K. J. (1999): Zur Anwendung des Nachhaltigkeitsprinzips im forstlichen Datenmanagement. – Forstarchiv **70**: 28–36.

- ULRICH, B. (1987): Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluss saurer Deposition. – Forstarchiv **58**: 232–239.
- ULRICH, B. (1993): 25 Jahre Ökosystem- und Waldschadensforschung im Solling. – Forstarchiv **64/4**: 147–152.
- 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. – 50 S.; New York (Wiley).
- UMWELTBUNDESAMT (2011). Fachinformationssystem Bodenschutz (bBIS-UBA). – Umweltbundesamt; Dessau, <www.umweltbundesamt.de>.
- UNECE (2010): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. – ICP Forests; Hamburg – ISBN 978-3-926301-03-1, <<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>>.
- VTI-AK – JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT AGRARRELEVANTE KLIMAFORSCHUNG (2011): Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. – vTI; Braunschweig, <www.vti.bund.de>.