



Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Bodendauerbeobachtung in NRW

Konzeption und Sachstand

Friedrich Metzger, Rita Haag und Ingrid Stempelmann

Essen, September 2005

IMPRESSUM:

Herausgeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)
Wallneyer Str. 6, D-45133 Essen

Redaktion und Layout: LUA NRW, Fachbereich 33

Inhalt

1.	Einleitung und Problemstellung.....	4
1.1	Konzeptentwicklung in Bund-Länderarbeitskreisen.....	5
1.2	BDF-Programme anderer Bundesländer	6
1.3	Gesetzliche Grundlagen	8
2.	Konzeption der Bodendauerbeobachtung in NRW.....	8
2.1	Abgrenzung der Bodendauerbeobachtung in NRW vom SAG Konzept	8
2.2	Ziele der Bodendauerbeobachtung in NRW	10
3.	Verfahren und Methoden	12
3.1	Kriterien für die Vorauswahl der BDF-Standorte in NRW	12
3.1.1	Detail-Bodenkartierung	17
3.1.2	Festlegung der Probenahmeflächen.....	17
3.2	Wahl der Parameter und Untersuchungsmethoden	18
3.2.1	Bodenphysikalische und -chemische Parameter.....	18
3.2.2	Bodenbiologische Parameter	20
3.3	Probenahme und Probenaufbereitung	22
3.3.1	Probenahme für physikalische und chemische Untersuchungen.....	22
3.3.1.1	Probenaufbereitung.....	24
3.3.1.2	Archivierung der Rückstellproben in der Bodenprobenbank	24
3.3.2	Probenahme für bodenbiologische Untersuchungen	24
3.3.2.1	Mikrobiologische Untersuchungen	25
3.3.2.2	Faunistische Untersuchungen.....	27
4.	Realisierte BDF (Stand 2004)	28
4.1	Lage und Übersichtverzeichnis der einzelnen Beobachtungsflächen	28
4.2	Beschreibung der einzelnen BDF	29
5.	Verwaltung der BDF-Daten	35
5.1	System-Konzept FIS BDF	35
5.1.1	Datengrundlagen	35
5.1.2	Architektur des FIS BDF	36
5.2	Umsetzung FIS BDF	37
5.3	Umsetzung der lokalen Systeme BPhys/Chem und BodBio	38
5.3.1	Aufbereitung der Datenbestände	38
5.3.2	Datenimport, Datenflüsse und Schnittstellen.....	39
5.4	Übergeordnete Auswertungen des FIS BDF	39
6.	Zusammenfassung	41
7.	Literatur	43

1. Einleitung und Problemstellung

Böden verschiedener Formen und Eigenschaften entwickelten sich über Jahrtausende unter den Einflüssen unterschiedlicher Klimate und Vegetationsbedeckung aus den jeweils anstehenden Gesteinen oder Gesteinsgemischen der nacheiszeitlichen Deckschichten. Entsprechend den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen und Verläufen der Bodenentwicklung sind Böden unterschiedlicher Naturraumpotenziale und -funktionen sowie Möglichkeiten und Grenzen standortverträglicher und nachhaltiger Nutzung entstanden.

Seit langer Zeit unterliegen die Böden bereits anthropogenen Veränderungen und Belastungen. Dabei sind sowohl kleinräumig unterschiedliche Nutzungsformen, als auch Einträge aus der Luft als Ursachen zu nennen. Belastungsbedingte Veränderungen der Böden treten bedingt durch die Filter- und Pufferwirkung des Mediums zeitlich versetzt und meist schleichend auf. Erst spät wurde erkannt, dass negative Auswirkungen zumindest lokal schon eingetreten sind und auch in Zukunft trotz erfolgreicher Maßnahmen zur Belastungsminderung nicht ausgeschlossen werden können.

Böden sind infolge anthropogener Einflüsse in ihren wesentlichen Funktionen bedroht:

- Als natürliche Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen und Bodenorganismen sowie Tiere und Menschen,
- als Regler von Wasser- und Nährstoffkreisläufen und hier insbesondere zum Schutz gegen Hochwasserspitzen und zur Wasserabflussdämpfung (Erosionsschutz) in Landschaften,
- als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers sowie
- als Standortfaktor für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung.

Schon früh stellte sich die Umweltverwaltung in NRW dieser Problematik und führte

- im Rahmen der Luftreinhalteplanung und anderer Untersuchungsprogramme seit Ende der 70er Jahre Untersuchungen zur Ermittlung von Bodenbelastungen durch Schwermetalle sowie
- seit Beginn der 80er Jahre Schwerpunktprogramme zur Ursachenklärung der damals neuartigen Waldschäden und Ermittlung des Zustands der Versauerung von Waldböden durch.

Dabei handelte es sich um die Beschreibung von Bodenzuständen, die als Ergebnis bisheriger Belastungseinwirkungen ausgewertet wurden. Darüber hinausgehende Konzepte zur Ermittlung weiterhin anstehender Belastungen und ihrer langfristigen Wirkung auf die Böden fehlten aber.

1.1 Konzeptentwicklung in Bund-Länderarbeitskreisen

Die Umweltminister des Bundes und der Länder hielten auf einer Konferenz im Mai 1985 angesichts zahlreicher Berichte über nachhaltig wirksame Minderungen der Bodenqualität durch die Wirkung stofflicher Bodenbelastungen bis hin zum Verlust natürlicher Bodenfunktionen und zur Nutzungsfahr eine entscheidende Verbesserung der Informationsgrundlagen zu Böden für vordringlich, um notwendige Entscheidungen im Bodenschutz treffen zu können.

Infolgedessen wurde die Schaffung einer geeigneten Datenbasis in Form zwischen den Ländern abgestimmter „Boden-Informationssysteme“ (BIS) gefordert. Eine wesentliche Datenquelle dieser BIS sollte nach dem 1987 von der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz (SAG) veröffentlichten „Konzept zur Erstellung von Bodeninformationssystemen“ die Bodendauerbeobachtung sein. Ein entsprechendes Konzept zur bodenkundlichen Dauerbeobachtung als Teilbereich des Umwelt-Monitorings wurde 1991 von der SAG veröffentlicht [1]. Eine ad hoc AG der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) griff das Anliegen eines bundeseinheitlichen Vorgehens noch einmal auf und schlug dabei zusätzliche obligatorische Einrichtungsregeln und Untersuchungsverfahren vor [2]. Ziele der „Bodendauerbeobachtung“ sind nach diesem zur bundesweiten Anwendung vorgeschlagenen Konzept:

- Die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden,
- die langfristige Überwachung möglicher Veränderungen der Böden und
- die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung.

Die Bodendauerbeobachtung dient danach:

- Als Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen,
- als Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen,
- der Beweissicherung,
- der Umfeldüberwachung,
- als Referenz für Bodenbelastungen (z.B. Hintergrundwerte),
- als Versuchsplattform für die Forschung (z.B. Methodenentwicklung),
- als Referenz für bodenkundliche Standortaufnahmen

und soll somit die Kontrolle zur Erhaltung der oben genannten Funktionen ermöglichen.

Die Standortauswahl sollte gemäß diesem Konzept nach folgenden in verkürzter Form wiedergegebenen Kriterien erfolgen:

- **Landschaftsrepräsentanz:** BDF in charakteristischen und flächenhaft vorherrschenden Landschaften.

- **Bodenrepräsentanz:** Böden der BDF sollen Ausgangsmaterial, Bodenbildung, Bodenwasser- und Stoffhaushalt der charakteristischen Landschaften widerspiegeln.
- **Nutzungsrepräsentanz:** BDF
 - a) unter charakteristischer oder vorherrschender Nutzung
 - b) unter regionalspezifisch vorherrschender Sondernutzung
- **Belastungsrepräsentanz:** BDF in
 - a) Gebieten mit geogenen Besonderheiten,
 - b) Gebieten mit anthropogenem Belastungseinfluss,
 - c) unbelasteten bzw. diffus ubiquitär belasteten Gebieten

Darüber hinaus sollte das Bodenzustands-Monitoring in bestehende oder geplante (Überwachungs-) Messnetze und ökologische Beobachtungsgebiete integriert werden. Eine langfristige Verfügbarkeit der Fläche sowie die Erhaltung ihrer Nutzung sollten gesichert sein.

1.2 BDF-Programme anderer Bundesländer

Die Bundesländer gingen bei der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen von bereits bestehenden Informationen zum Zustand ihrer Böden aus und setzten den 1991 veröffentlichten Konzeptvorschlag der SAG [1] unter länderspezifisch gesehenen Prioritäten des Informationsbedarfs um. Sie führten laufende und teilweise grundlegende Erhebungen zur Verteilung und Eigenschaften der Böden unter dem Titel der Bodendauerbeobachtung fort. Zu diesem Zeitpunkt erstellten die Länder mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen Bodenkarten, Bodenkataster, Bodenbelastungskataster, kartographische Übersichten über geogen bedingte Hintergrundgehalte von Schwermetallen oder über die Gefahr der Schadstoffakkumulation, der Erosion oder der Verdichtung von Böden. Einigen Bundesländern standen zunächst für die Auswahl der BDF noch keine flächendeckenden Bodenkarten zur Verfügung. Zwischenzeitlich können sie sich zumindest auf Übersichts-Bodenkarten stützen, die eine wesentliche Grundlage der Bodendauerbeobachtungsprogramme sind. Unterschiedliche Informationsstände über die Böden sowie bodengefährdende Belastungen in den einzelnen Bundesländern begründen das uneinheitliche Vorgehen bei der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen. Eine weitere Ursache dafür ist die unterschiedliche Interpretation der in den BDF-Konzepten geforderten Repräsentanz von Landschaften und Böden, ebenso die in den Konzepten wenig entwickelte Differenzierung zwischen flächendeckender Erhebung des Ist-Zustands der Böden und dem Bodenzustands-Monitoring an schwerpunktmäßig ausgewählten belasteten Standorten („Hot Spots“).

Nach der in vielen Bundesländern über mehrere, teilweise schon über 10 Jahre gewachsenen Praxis der Bodendauerbeobachtung wurden den BDF später von der LABO [2] je nach Untersuchungsaufwand „Intensitätsstufen“ zugeordnet. Auf „Extensiv-BDF“ erfolgt das Bodenzustands-Monitoring

durch Vergleich entsprechender in Zeitreihen erhobener Daten. Extensiv-BDF dienen einigen Bundesländern zunächst zur flächendeckenden Kennzeichnung von Bodeneinheiten, wie in Baden-Württemberg hinsichtlich der litho- und pedogenen Hintergrundwerte oder sind Bestandteil eines Bodenkatasters, wie es in Bayern im Rahmen der Bodenkartierung im Maßstab 1: 25000 entstanden ist. Auf Extensiv-BDF verbleibt die Option, bei Bedarf, entsprechend einer neuen Fragestellung in angepasstem Umfang weitere Beprobungen und Untersuchungen durchzuführen.

Auf „Intensiv-BDF“ werden zusätzlich Ursache-Wirkungs-Beziehungen und Prozesse des Stoffumsatzes in Böden und Folgewirkungen auf das Sickerwasser und die Vegetation untersucht. Dabei stehen Anreicherungen und Verluste von Nähr- und Schadstoffen in den Böden sowie bilanzierende Messungen von Stoffein- und -austrägen im Vordergrund. Dabei können entsprechend der jeweils relevanten Belastungsszenarien die Methoden zur Erfassung der Stoffflüsse, Prozesse und der Zustände angepasst werden.

Anlässe für die Einrichtung und den Betrieb von Intensiv – BDF mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den Bundesländern sind:

a) Belastungen aus nasser und trockener Deposition:

- Durch Schwefeloxide (SO_x) und Schwefelsäure (H_2SO_4), Stickoxide (NO_x) und Salpetersäure (HNO_3) und andere Einträge, die in Böden eine versauernde Wirkung zeigen.
- Durch Schwermetalle und persistente organische Schadstoffe (z.B. PCB, PAK oder CKW), die in Böden akkumulieren können und ein zunehmendes Risiko eines erhöhten Schadstofftransfers sowohl über den Direktpfad und den Pfad Boden-Pflanze (Nahrungskette) zum Menschen, als auch in Oberflächen- und Grundwässer darstellen.
- Durch hohe Schadstoffeinträge im unmittelbaren Einwirkungsbereich von Industriebetrieben, Flughäfen oder stark frequentierten Autobahnen.
- Durch Radionuklide geogenen Ursprungs oder aus Kernwaffentests oder Störfällen wie Tschernobyl 1986.

b) Belastungen durch Stoffeinträge aus der Landwirtschaft wie

- überschüssige Düngemittel, die Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität beispielsweise durch Nitratauswaschung zur Folge haben.
- Schadstoffe von Pestiziden und aus Klärschlämmen oder Komposten.

c) Belastungen durch nicht standortangepasste Bodennutzung in der Landwirtschaft mit daraus resultierender

- Bodenverdichtung und Erosion,
- nachhaltiger Minderung der Bodenfunktionen als Pflanzenstandort sowie
- Gewässereutrophierung und -verschmutzung.

- d) Der Bedarf an umfassenden Kenntnissen des Umweltzustandes und des Verlaufs sich abzeichnender Veränderungen bzw. der Bedarfs einer Ökosystemforschung auf Sonderstandorten (z.B. Bergbaufolgelandschaften) oder schutzwürdigen Böden (z.B. Nieder- und Hochmoore, Auenböden oder Dünen).
- e) Der Verdacht auf Änderungen des Kohlenstoffhaushalts der Böden infolge der globalen Erwärmung.
- f) Der Informationsbedarf über die Effektivität von Bodenschutzkalkungen und Belastungsminderungen.

1.3 Gesetzliche Grundlagen

Inzwischen ermächtigt das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) [3] in § 21(4) die Länder Bodeninformationssysteme einzurichten. Die Bodendauerbeobachtung soll eine wesentliche Datenquelle dieser Informationssysteme sein. Über die Ist-Zustandsaufnahme der natürlichen Beschaffenheit und anthropogenen Überprägungen der Böden hinaus soll die Dauerbeobachtung die Entwicklungstendenz und die Änderungsraten der Bodenqualität insbesondere auf belasteten Standorten erfassen.

In NRW wird die Aufgabe der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen durch das Landesumweltamt im Landesbodenschutzgesetz (LbodSchG NRW) [4] in § 6 (3) gesetzlich verankert:

„Um den Zustand und die Veränderung der Beschaffenheit von Böden zu erkennen und zu überwachen, wird ein Netz von Dauerbeobachtungsflächen durch das Landesumweltamt eingerichtet und betreut. Die Dauerbeobachtungsflächen sind auf Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Bodenbeschaffenheit in unterschiedlichen zeitlichen Abständen zu untersuchen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse werden in das Bodeninformationssystem eingestellt.“

2. Konzeption der Bodendauerbeobachtung in NRW

Im Folgenden sollen die Ziele und Schwerpunkte der Bodendauerbeobachtung in Nordrhein-Westfalen und die Gründe für Abweichungen vom SAG-Konzept erläutert werden.

2.1 Abgrenzung der Bodendauerbeobachtung in NRW vom SAG Konzept

Die Prinzipien des Bodenzustands-Monitorings der SAG- und LABO-Konzepte gehen primär von der boden-, landschafts-, nutzungs- und belastungsrepräsentativen Grundinventur der Böden aus und ver-

folgen darauf aufbauend das Ziel, zeitliche Veränderungen zu erfassen. Dabei wird weder nach Art und Intensität anstehender und zukünftig zu erwartender Belastungseinflüsse und der Belastungssensibilität der Böden differenziert, noch auf ein prioritäres Vorgehen zur Erfassung von Trends der Bodenqualität hingewiesen. Diese Vorgehensweise ist bei der Ist-Zustandserhebung der Bodenformen und ihrer Eigenschaften und Potentiale sowie bei der Erstellung einer entsprechenden Bodenkarte als Planungsgrundlage für nachhaltige Bodennutzungen sinnvoll und notwendig. Bei einem flächendeckenden, allseits repräsentativen Monitoring von Bodenzustandsänderungen würde jedoch ein exorbitanter Messaufwand auf Flächen hervorgerufen, bei denen die Belastungen gering und daraus resultierende Bodenzustandsänderungen vorhersehbar geringfügig sind und voraussichtlich mittelfristig (< 100 Jahre) aufgrund messfehlerbedingter Streuungen statistisch nicht abgesichert werden können [5],[6].

Eine wichtige Datenquelle zur Ist-Zustandsbeschreibung von Böden in NRW stellt bereits die flächendeckende Bodenkarte im Maßstab von 1:50.000 dar, die eine laboranalytische Kennzeichnung der regional- und lokaltypischen Leitprofile der Hauptbodeneinheiten beinhaltet. Dies gilt auch für die in NRW verfügbare Datengrundlage zur Schadstoffbelastung von Böden, die das Fachinformationssystem „Stoffliche Bodenbelastung“ (FIS StoBo) des Landesumweltamtes NRW mit derzeit etwa 60.000 Datensätzen bietet [7]. Weitere Daten liegen als Ergebnisse der Bodenzustandserfassung (BZE) von etwa 500 Waldstandorten in NRW vor. Die BDF in NRW werden deshalb nicht als Instrument der landschafts- und bodenrepräsentativen bodenkundlichen Landesaufnahme zur „Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden“ konzipiert, sondern sie sollen an ausgewählten Standorten zur Überwachung der Bodenentwicklung unter Belastungseinfluss dienen.

Die Bodendauerbeobachtung in NRW knüpft dazu an die Differenzierung der Bodeneinheiten in Bodenkarten an und nutzt die ausgewiesenen Bodenqualitäten als Kriterium zur Auswahl von Monitoring-Standorten hinsichtlich deren Sensibilität gegenüber anthropogenen Einflüssen bzw. der Belastbarkeit der Böden. Für diese BDF werden durch die Messungen von Stoffeinträgen Belastungseinflüsse und Belastungsauswirkungen auf die Sickerwasserqualität (Nähr- und Schadstoffgehalte sowie – austragsraten) und die Vegetation (Mineralstoffversorgung, Vitalität, Bestandesstabilität, Zuwachs) untersucht, so dass diese Flächen als Intensiv-BDF bezeichnet werden können. Der Aufwand bzw. die Intensität der Untersuchungen ist selbst auf Extensiv-BDF durch eine höhere Anzahl an Stichproben größer, als bei den meisten bisherigen Erhebungen des Ist-Zustands von Böden.

2.2 Ziele der Bodendauerbeobachtung in NRW

Das primäre Ziel der Bodendauerbeobachtung in NRW ist, Trends nachteiliger und schädlicher Bodenveränderungen möglichst frühzeitig, d.h. bevor Einschränkungen oder Verluste von Bodenfunktionen entstehen, zu erfassen, damit ggf. geeignete Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können. Das Monitoring ist damit ein Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen, wie im §1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes [3] gefordert wird.

Untersuchungsstandorte wurden deshalb dort ausgewählt, wo negative Bodenveränderungen in kürzerer Frist zu erwarten sind und die Differenzen der Messwerte in der Zeitreihe gegen die statistische Wertevariation abgesichert werden können. An diesen Belastungsschwerpunkten wurde nach der Einschätzung der Relevanz der Belastung und deren Auswirkungen auf die Böden dann zusätzlich die Repräsentanz der betroffenen und unterschiedlich auf Belastungen reagierenden Böden berücksichtigt [8].

Unter den verschiedenen denkbaren Anlässen für BDF in NRW können schleichende Bodenveränderungen durch Stoffeinträge aus der Luft nur über Zeitreihenmessungen, z.B. im Rahmen der Dauerbeobachtung dargestellt werden, weil der einwirkende Faktor, die „Schadstoffdeposition“ standortspezifisch nach Art und Höhe verschieden ist und die Möglichkeit zur Untersuchung der Auswirkungen dieser Schadstoffdeposition an einzelnen Standorten in verschiedenen Dosisstufen fehlt. Zudem können die fortschreitenden Reaktionen der Bodenversauerung, Entbasung und Aluminiumfreisetzung aus den Säureeinträgen nicht vorhergesagt werden, da diese von Pufferreaktionen in den Böden abhängen [5]. Die Akkumulation persistenter Schadstoffe in Böden kann zwar aus Eintragsraten abgeschätzt werden, da aber die nicht kontinuierlichen und flächendeckenden Depositionsmessungen die Einträge nur teilweise erfassen, ist für Schwermetalle ein ergänzendes Monitoring der Stoffakkumulation in Böden erforderlich. Für organische Schadstoffe bleibt im Bedarfsfall die Zeitreihenuntersuchung die einzige Möglichkeit, deren Akkumulation in Böden zu ermitteln, solange es keine geeigneten Depositionsmessverfahren zur Vorabschätzung gibt.

Für eine Entscheidung, ob die Dauerbeobachtung organischer Schadstoffe im Rahmen der Bodendauerbeobachtung sinnvoll und notwendig ist, fehlten bisher Informationen zur Bewertung der toxikologisch begründeten Relevanz einer Bodenbelastung durch organische Schadstoffe. Die Defizite beziehen sich sowohl auf Wirkungsszenarien im Boden selbst, als auch entlang der Transferwege der Schadstoffe im Sickerwasser hin zu Grundwässern und in die Vegetation. Es fehlten aber auch noch Vorermittlungen über die Lage der Schadstoffquellen, die Emissionsmassen sowie deren Ausbreitung und Deposition. Für die Vorabschätzung der Gefahr einer Akkumulation organischer Schadstoffe im Boden fehlten zudem sichere Angaben über deren Zerfalls- und Abbauraten in Böden. Die Einbeziehung organischer Schadstoffe und ihrer Metabolite in das Verfahren der Bodendauerbeobachtung wurde deshalb bis zur Klärung des Bedarfs an entsprechenden Informationen zunächst zurückgestellt.

Im Gegensatz zu immissionsbedingten Bodenveränderungen lassen sich Fragen der Auswirkungen einer landwirtschaftlichen Bodennutzung (Düngung, Bodenbearbeitung, Bepflanzung oder Bedeckung) auf Böden bereits weitestgehend aus Ergebnissen des landwirtschaftlichen Versuchswesens beantworten. Diese Erfahrungen bieten zumindest mittelfristig eine Basis für die Formulierung von „Grundsätzen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“ nach § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes [3]. Die Dauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Böden wurde deshalb zunächst als weniger dringlich eingestuft und in NRW zurückgestellt. In wie weit die landwirtschaftlichen Beratungsstellen zur Gewährleistung einer bodenschonenden, umwelt- und standortgerechten Landwirtschaft nach § 17 des Bundesbodenschutzgesetzes zusätzlich noch Informationen aus einer Dauerbeobachtung von Böden unter verschiedenen Nutzungsvarianten benötigen, wird noch geprüft.

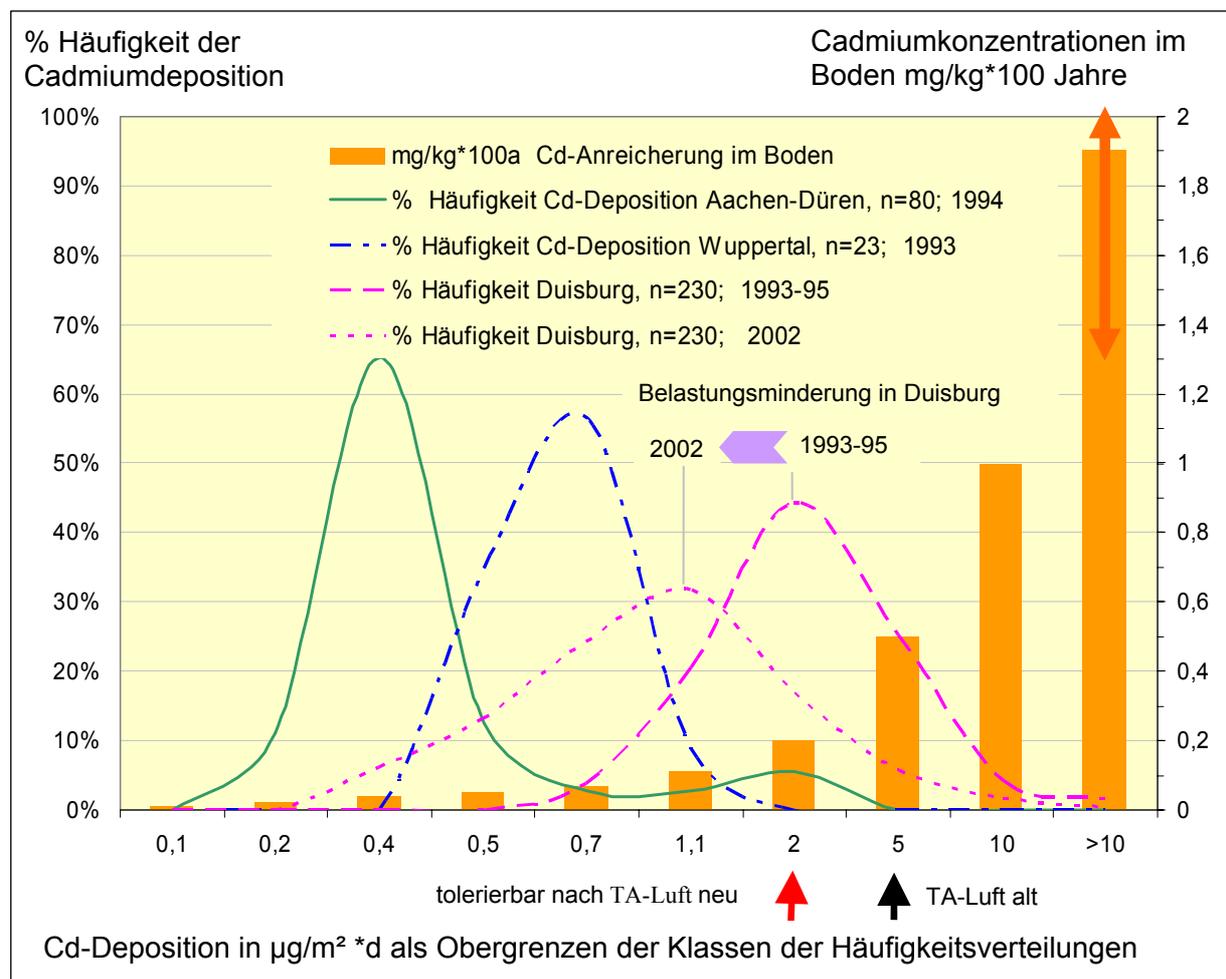
3. Verfahren und Methoden

3.1 Kriterien für die Vorauswahl der BDF-Standorte in NRW

In Übereinstimmung mit dem Konzept und den Zielen der Bodendauerbeobachtung in NRW wurden BDF an Standorten eingerichtet, auf denen nach Vorabschätzungen Schadstoffdepositionen ohne mindernde Maßnahmen mittelfristig zu nicht tolerierbaren schädlichen Bodenveränderungen führen. Diese Wirkung wird sowohl anhand der Akkumulation persistenter Schadstoffe in Böden als auch an den Reaktionen von in Böden eingetragenen Säuren und Säurevorstufen gemessen. Bei der Belastung durch staubgebundene Schadstoffe wie Schwermetalle ist von höheren Einträgen in urbanen und insbesondere industriellen Ballungsräumen auszugehen, während in ländlichen Räumen mit niedrigeren Einträgen zu rechnen ist.

Als Beispiel kann die in Abb. 3.1 dargestellte, vor allem in Ruhrgebietsstädten wie Duisburg erhöhte Deposition von Cadmium und die daraus abgeleitete Anreicherung im Boden dienen.

Abb. 3.1: Häufigkeitsverteilungen der Schwermetalldeposition und daraus abgeleitete Akkumulation in Böden (bei 365 kg/m², bzw. ca. 25 cm Bearbeitungstiefe) in verschiedenen belasteten Gebieten in NRW am Beispiel von Cadmium (Cd)



In **Abb. 3.1** sind den Cadmiumniederschlägen ihre Häufigkeitsverteilungen (in %) in verschiedenen belasteten Gebieten sowie die aus der jeweiligen Cd-Deposition über 100 Jahre hochgerechnete Cd-Konzentrierung in Böden (in mg/kg) gegenüber gestellt. Dabei wurde eine Bodentiefe von etwa 25 cm und ein Masse von 365 kg Boden pro m² zugrunde gelegt. Die aus Depositionswerten hochgerechnete Cd-Akkumulation wäre dementsprechend auf nicht bearbeiteten Böden bei niedrigeren Bodentiefen höher. Nicht berücksichtigt werden konnten die gegenüber den Depositionsmessdaten höheren realen Schwermetalleinträge, aber auch entlastende Effekte wie die Tiefenverlagerung oder ein Entzug von Schadstoffen durch Pflanzen. Gleichwohl dienen die Depositionsmesswerte zur Orientierung bei der Auswahl der BDF-Standorte insbesondere dort, wo Schwermetalleinträge Bagatellwerte überschreiten.

Nach folgender Auflistung in **Tab. 3.1.1** unterschreitet das Beispielschwermetall Cadmium die Depositionsraten an ca. 90% der Messpunkte 0,5 µg/m² pro Tag in einem überwiegend ländlichen Gebiet, 0,7 µg/m² pro Tag in der Kleinstadt Wuppertal und deren Randbereichen sowie 4-5 µg/m² pro Tag im industriellen Ballungsraum Duisburg (1993 – 1995) und nach Belastungsminderung 2 µg/m² pro Tag im Messjahr 2002. Aus der Deposition abgeleitete Cadmiumanreicherungen im Boden erreichen im vorliegenden Gebietsvergleich im Wesentlichen in Teilgebieten Duisburgs relevante Maße.

Tab. 3.1.1: Depositionsraten des Schwermetalls Cadmium und ihre summierten Häufigkeiten an verschiedenen Standorten

Deposition in µg Cadmium pro m ² und Tag				< 0,5	<0,7	<1,1	<2	<5	<10
Cadmium-Akkumulation in mg/kg Boden * 100 Jahre				<0,05	<0,07	<0,11	<0,2	<0,5	<1
Messgebiet / Messperiode	km - Raster	Anzahl Messstel- len (n)	Summen der Häufigkeiten der Cd-Deposition bzw. Akkumulation von Cadmium in Böden						
Aachen – Düren	1994	8 x 8	80	88%				<i>100%</i>	
Wuppertal Stadt und Stadtrand	1993	1 x 1 Inseln	23	35%	92%	<i>100%</i>			
Duisburg	1993 - 1995	1 x 1	230	0%	3%	24%	69%	94%	98%
Duisburg	2002	1 x 1	230	20%	44%	75%	92%	98%	99%

Im Gegensatz zu staubgebundenen Schadstoffen werden Säuren und Säurevorstufen ausgehend von hohen Industrieschornsteinen durch Ferntransport über weite Räume verteilt oder entstammen den weit in der Fläche verteilten NO_x-Emissionen des KFZ-Verkehrs. Dies hat über weite Ausbreitungsstrecken eine weniger graduierte Belastung zur Folge. Die Belastung ist allerdings lokal bzw. regional durch Standortfaktoren wie Niederschlagsmenge und die Exposition von Geländeerhebungen variiert. Flächendeckende Übersichten der Variation der Säureinträge aus Messungen oder Abschätzungen standen bei der Auswahl der BDF-Standorte in NRW aber bisher nicht zur Verfügung. Hier steht die Sensibilität verschiedener Böden in ihrer Reaktion auf Säureinträge im Vordergrund der BDF-Standortwahl bzw. der BDF-Untersuchungen.

BDF mit vorrangiger Zielsetzung, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe zu untersuchen, wurden aus oben genannten Gründen deshalb meist in Städten mit hoher industrieller Dichte

wie Duisburg und im Lee des Ballungsraums Rhein/Ruhr angelegt, wo bis in die jüngste Vergangenheit in diskontinuierlichen Messungen der Schwermetalldeposition erhöhte Werte teils über tolerierbaren Schwellen nachgewiesen wurden. Als Referenzstandorte wurden Gebiete mit ubiquitärer Belastung weit ab von Ballungsräumen ausgewählt.

BDF, auf denen hingegen die Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung untersucht werden, verteilen sich über die dominanten Bodeneinheiten nach der Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BK 50) von NRW mit sehr unterschiedlich basenhaltigen und Säureeinträge puffernden Böden. Sie liegen dementsprechend sowohl in der Nähe, als auch fern von Industriegebieten. Es handelt sich dabei ausschließlich um Waldstandorte, denn die eingetragenen Säurebildner führen vor allem in Waldböden entsprechend deren häufig geringen Basenvorräte und Pufferkapazitäten mehr oder weniger tiefreichend und schnell zur Nährstoffverarmung und Versauerung, was irreversible Schäden an den Böden und Beeinträchtigungen des Waldwachstums und der Grundwasserqualität nach sich zieht.

Anzumerken ist dazu, dass Waldnutzung oft an Standorten mit natürlich nährstoffarmen Böden verblieben ist, die für eine ertragreiche Landwirtschaft ungeeignet waren und die als Ausgleich für vorangegangene Nutzungen nie wirksam im Bereich des durchwurzelbaren Reaktionsraums der eingetragenen Säuren gedüngt worden sind. Hinzu kommt, dass die Waldbäume durch die Interzeption verstärkt Schadstoffe aus der Luft filtern, die mit dem Niederschlag direkt oder über den Stammabfluss und das Laub in die Böden gelangen.

Tabelle 3.1.2 Zeigt eine Übersicht bezüglich der Untersuchungsschwerpunkte und der Belastungsexposition der BDF in NRW.

Tabelle 3.1.2: Übersicht der BDF in NRW bezüglich ihrer Belastungssituation

Anzahl BDF	BDF-Standortgruppe	Entfernung zum Schadstoffemittenten	Vorrangige Belastungssituation
2	Belastungsgebiet Duisburg	emittentennah	Schwermetall-Akkumulation
1	Referenz Belastungsgebiet	emittentenfern	ubiquitäre Schwermetall-Akkumulation
15	Waldstandorte in NRW Ruhrgebietsstädte, Kleve, Weserbergland, Rothaargebirge und ergänzende Standorte	emittentennah und emittentenfern	beschleunigte, Basenauswaschung, Nährstoffverarmung, Versauerung und Schadstoffmobilisierung durch Säureinträge/ bzw. -einwirkungen und Schwermetall-Akkumulation, graduiert nach Emittentennähe
3	Referenz ohne besonderen Säurestress außerhalb der vergleichbaren Waldstandorte	emittentennah und emittentenfern	ubiquitäre Schwermetall-Akkumulation und Säurewirkung geringerer Einträge in nicht spezifisch vorbelastete Böden

Da Böden auf Belastungen sehr unterschiedlich reagieren, war bei der Auswahl der BDF-Standorte auch die Variationsbreite der diesbezüglich relevanten Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Die Böden sind hier als Reaktionsräume zu betrachten, in denen persistente Schadstoffe in unterschiedlichen Mengen fest gebunden und Säuren neutralisiert werden können, bevor es zu Qualitätsminderungen und Funktionsverlusten der Böden durch Mobilisierung der zunächst akkumulierten Schadstoffe oder zum Verbrauch von Basenvorräten bis hin zur Erschöpfung kommt.

Eine differenziertere Übersicht über die bei der Auswahl der BDF berücksichtigten Bodeneinheiten der BK 50 gibt die Übersicht in **Tab. 3.1.3**. Alle Böden der BDF repräsentieren die Hauptbodeneinheiten von etwa 85 % der auf der Gesamtfläche Nordrhein-Westfalens vorkommenden Böden.

Tab. 3.1.3: Berücksichtigung der Hauptbodeneinheiten in NRW bei der Einrichtung von BDF

Bodentyp	NRW (%)	Landschaftsraum	Bodentyp (nach [9])	BDF	Bodeneinheit¹ (nach [9])
Braunerde	30	Sauerland Sauerland Eifel Bergisches Land Eggegebirge Niederheinisches Tiefland Niederheinisches Tiefland Ruhrgebiet Ruhrgebiet Ruhrgebiet Siebengebirge	B3 B3 B3 B3 B-Q3 S-B3 S-B3 P-B7 gS-B3 B3 Braunerde auf Vulkangestein	Glindfeld Elberndorf Lütkenberg Kleve-Tannenbusch Kleve-Rehsol DUI Stadtwald DUI Mattlerbusch DUI Biegerhof	B323 B323 B-Q32 S-B332 S-B342 P-B732 gS-B333 B334
Gley	17	Münsterland Münsterland Niederheinisches Tiefland Niederheinisches Tiefland	P-G7 GN7, GM7, GHn0 S-G4 Gs3	Goch	S-G423
Parabraunerde	17	Niederrheinische Bucht Bergisches Land Ruhrgebiet	(S-)L3 B-S3 S4	Essen Süd Castrop-Rauxel	B-S342 S414
Pseudogley	12	Westmünsterland Zentralmünsterland Eifel Ruhrgebiet Eifel Weserbergland Niederrhein. Tiefland	S4 S2, S5 B-S3 S7 S3x3 S3x3 S3x2	Everswinkel Lammersd. Fi & Bu Bottrop	S442 B-S332 S722
Podsol	6,4	Münsterland Münsterland Weserbergland Niederheinisches Tiefland	G-P8 B-P7 B-P3 (B-)P8	Haard Velmerstot	B-P731 B-P311
Auenboden	4,7	Niederheinisches Tiefland	G-A344	Keine BDF	
Plaggenesch	3,6	Münsterland Niederheinisches Tiefland	E732 E732	Keine BDF	
Kolluvium	2,1	Niederrheinische Bucht	K332	Keine BDF	
Rendzina	1,8	Weserbergland Sauerland/Bergisches Land Eifel-Nettersheim	B2	Schwaney	B224
Moor	1,1	Eifel Münsterland Niederheinisches Tiefland	HNu (Übergangs-) HH (Hoch-) HN (Niedermoor)	Keine BDF	
Abgrabungen + Aufschüttungen	0,8	Ruhrgebiet/NR Niederrheinische Bucht	Bergehalde Braunkohlehalde	Keine BDF	
Ranker + Re- gosol		Sauerland Münsterland	Ranker N Regosol Q	Keine BDF	

¹ Der Schlüssel der Abkürzungen für die Bodenhorizonte und Bodensubtypen findet sich im Anhang Nr. A.3

Obwohl die BDF - wie bereits erwähnt - vor allem nach unterschiedlichen Belastungsschwerpunkten und erst mit nachrangiger Priorität nach bodenkundlicher Repräsentanz ausgewählt wurden, deckt NRW mit diesem Konzept insbesondere bezogen auf das Monitoring der Waldbodenversauerung einen sehr hohen Prozentsatz an Hauptbodeneinheiten ab. Hinsichtlich der Landschafts- und Nutzungsrepräsentativität ist das nordrhein-westfälische Konzept der Bodendauerbeobachtung allerdings nicht konform zu den BDF-Konzepten von SAG [1] und LABO [2].

3.1.1 Detail-Bodenkartierung

Der bereits erläuterten Vorauswahl der BDF-Standorte folgte eine Detailbodenkartierung im Maßstab 1:1000 durch den Geologischen Dienst NRW (GD NRW, ehemals Geologisches Landesamt, GLA).

Diese Kartierung diente

- der Kennzeichnung der Heterogenität in Betracht gezogener Flächen hinsichtlich der bodenbildenden Substrate, der Ausprägung der Bodenbildung bzw. der Verwitterungsgrade und der Hydromorphologie sowie
- als Entscheidungsgrundlage zur Festlegung der BDF-Probenahmeflächen in einem möglichst wenig heterogenen Teilareal mit typischer Bodenform.

Dabei sollten Störfaktoren und unnötige Streuungen bei der Datenerhebung als Folge von Heterogenität der Beprobungsfläche weitestgehend vermieden werden. Ziel der Bodenkartierung war es auch, Kriterien zur Beurteilung der Repräsentanz zu erarbeiten.

3.1.2 Festlegung der Probenahmeflächen

Die BDF liegen hinsichtlich der Bodeneigenschaften und des Pflanzenbestandes in einem möglichst homogenen Teil der bodenkundlich kartierten Vorauswahlfläche, die um den Faktor 2-3 größer ist als die späteren Probenahmeflächen. Für die Erhebung physikalischer und chemischer sowie bodenbiologischer Parameter wurden die Probenahmeflächen in derselben Bodeneinheit meist nebeneinander eingerichtet. Die Standardgröße der Probenahmeflächen für die physikalischen und chemischen Bodenuntersuchungen beträgt in der Regel 72 x 72 m (ca. 5000 m² und mindestens 3500 m²) und für die bodenbiologischen Bodenuntersuchungen 30 x 30 m (ca. 900 m² und mindestens 500 m²). Von einer quadratischen Form wurde abgewichen, wenn ein Wechsel der Bodenart, Bodenstörungen, Bestandesgrenzen oder die Lage weiterer Messflächen zur Anpassung zu einer anderen Form zwangen. Die Probenahmeflächen sind an Wegenetzen oder sonstigen mittelfristig verfügbaren Geländemarken orientiert eingemessen und an den Eckpunkten mit Holzpflocken und Unterflurmarken gesichert. Mittels GPS und einem Unterflurmarkendetektor lassen sich die fest vermarkten Eckpunkte und die Stichprobenflächen für die Erst- und Wiederholungsuntersuchungen jederzeit wieder finden.

3.2 Wahl der Parameter und Untersuchungsmethoden

Die gewählten Untersuchungsmethoden richten sich nach ihrer Eignung, den Boden der jeweiligen BDF als Standortfaktor für verschiedene Funktionen und Nutzungen angemessen zu charakterisieren. Belastungsbedingte Entwicklungen der Bodenfunktionen sollen anhand der Parameter nach periodischen Wiederholungsuntersuchungen als Trend darzustellen sein.

Seit Beginn der Einrichtung des Bodendauerbeobachtungsprogramms in Nordrhein-Westfalen sind neben bodenphysikalischen und -chemischen auch bodenbiologische Untersuchungen in das Monitoring integriert. Denn gerade biologische Parameter eignen sich besonders, um Veränderungen von Bodeneigenschaften festzustellen. Die Reaktion der Bodenorganismen auf veränderte Umwelteinflüsse vollzieht sich dabei zügiger als die Reaktion von bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften. Die Einwirkung auf die bodenbiologischen Eigenschaften resultiert aus vielen Einflussfaktoren, so dass diese als integrale Indikatoren für den allgemeinen Bodenzustand betrachtet werden können. Bodenbiologische Untersuchungen sind deshalb eine sinnvolle Ergänzung zu den üblichen physikalischen und chemischen Untersuchungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen.

3.2.1 Bodenphysikalische und -chemische Parameter

Die physikalischen und chemischen Parameter lassen sich in folgende Kategorien einordnen. Sie beschreiben

- den Bodenaufbau und -zustand,
- die Anreicherung persistenter Schadstoffe,
- den aktuellen Entbasungs- und Versauerungsstatus der Böden
- und lassen Rückschlüsse auf das Reaktionsmilieu in den Böden und das Risiko z.B. einer Mobilisierung von Schadstoffen und Einschränkungen der biologischen Aktivität zu.

In der folgenden Tabelle (Tab. 3.3) sind die einzelnen physikalischen und chemischen Untersuchungsparameter, die auf den Bodendauerbeobachtungsflächen in NRW durchgeführt werden, mit angewandter Methode aufgelistet:

Tab. 3.3: Physikalische und chemische Parameter und Methoden

Parameter / Verfahren	Methode
Bestimmung und Abgrenzung der Bodenarten, Bodentypen im Feld und Erstellung der Bodenkarte	DIN 19682-2 und KA4 [10]
Probenahmeverfahren	E DIN ISO 10381-1
Bestimmung der Trockenrohddichte im Mineralboden	DIN ISO 11272
Bestimmung des Steingehalts (%-Anteil > 2 mm)	DIN ISO 11464
Vorratsmengen der Humusaufgabe (Wald)	DIN ISO 11464
Restwassergehalt (Differenz lufttrockener Boden – ofentrockener Boden bei 105°C)	E DIN ISO 11464 Nach SAG [1]
Körnungsanalyse (Sand, Ton, Schluff) 3 Fraktionen	DIN ISO 11277
pH (CaCl ₂)	DIN ISO 10390
pH (KCl)	BZE E 1.2.1 [23], DIN ISO 10390
pH (H ₂ O)	DIN ISO 10390
Kohlenstoffgehalte gesamt	DIN ISO 10694
Stickstoff gesamt	DIN ISO 13878
KAK _{eff} und Austauschaktionen (NH ₄ Cl-Perkol.) Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, H	Nach MEIWES et al. [11]
KAK _{pot} ergänzend (ohne einzelne Elemente)	Nach MEHLICH [12]
Königswasseraufschluss (KW)	DIN ISO 11466
Nährstoffgesamtgehalte: Na, K, Ca, Mg, P, S, Al, Mn, Fe aus Königswasseraufschluss	DIN EN ISO 11885
Schwermetalle: As, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Tl, Pb (ICP-AES) und Hg (H-AAS) aus Königswasseraufschluss	Nach Handbuch der Bodenuntersuchung [13]

Anhand des getrockneten, aufbereiteten und eingelagerten Probenmaterials der Bodenprobenbank können mit Ausnahme organischer Schadstoffe, die bei der verwendeten Konservierung der Proben nicht erhalten bleiben, alle gewünschten Parameter bestimmt werden und bleiben somit reproduzierbar. Die Untersuchung organischer Schadstoffe im Rahmen des Bodenzustands-Monitorings in NRW wurde bisher zurückgestellt (vgl. Kap. 2.2).

3.2.2 Bodenbiologische Parameter

Die Zielsetzung der bodenbiologischen Untersuchungen ist die Erfassung möglicher Beeinträchtigungen bzw. Veränderungen der Lebensraum- und Stoffumsatzfunktionen auf Bodendauerbeobachtungsflächen. Im Rahmen des bodenbiologischen Programms auf Bodendauerbeobachtungsflächen werden sowohl bodenzoologische als auch bodenmikrobiologische Untersuchungen durchgeführt, um neben den Funktions- auch Strukturparameter abzudecken. Neben der Möglichkeit, bodenbiologische Parameter als Indikatoren für Bodenveränderungen infolge von Schadstoffbelastungen als Frühwarn-Indikatoren zu verwenden, können diese auch als Maß für die natürliche Fruchtbarkeit der Böden dienen. Seit 2000 ist auch im nordrhein-westfälischen Landesbodenschutzgesetz die Aufgabe, Böden „auf Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Bodenbeschaffenheit in unterschiedlichen zeitlichen Abständen zu untersuchen“ (§ 6 Abs. 3 LbodSchG [4]) vorgeschrieben.

Folgende **Funktionsparameter**, die Auskunft über die biologische Aktivität der Böden geben, werden als Teil des bodenbiologischen Programms gemessen:

- Die mikrobielle **Kohlenstoffmineralisation** in Böden über die aktuelle Atmung (Basalatmung, BAT) nach SCHINNER et al.[14],
- die mikrobielle Atmung nach Zusatz von leicht zersetzbarem Substrat wie Glucose (**Substrat-induzierte Respiration**, SIR) als potenzielle Atmung über den O₂-Verbrauch im Sapromaten nach SCHINNER et al. [14], DIN 19737,
- die **mikrobielle Biomasse** (C_{mik}), errechnet aus der SIR über den O₂-Verbrauch im Sapromaten nach SCHINNER et al. [14] sowie
- die **Dehydrogenaseaktivität** (DHA) mit TTC nach THALMANN (1968), beschrieben in ALEF (1991) [15] DIN 19733-1. Die Bestimmung ist aus methodischen Gründen nicht bei Waldböden und Standorten mit pH < 5, bei hohen Cu-Gehalten oder anaeroben, reduktiven Böden möglich und wird deshalb v.a. auf Grünlandflächen verwendet.

Zusätzlich werden folgende ökophysiologische Quotienten berechnet:

- Der **respiratorische Aktivierungsquotient** (Q_R) aus dem Verhältnis von Basalatmung zu substratinduzierter Respiration in Anlehnung an ISO/DIS 17155 und
- das **Verhältnis von mikrobieller Biomasse zu organischem Kohlenstoff** (C_{mic}/C_{org}) nach SCHINNER et al. [14].

Diese Quotienten erlauben eine Aussage zur Effizienz der mikrobiellen Nährstoffverwertung im untersuchten Boden und eignen sich somit auch als Stressindikatoren z.B. bei Bodenversauerung, bei Belastung durch anorganische bzw. organische Schadstoffe und bei Nährstofflimitierung (vgl. [14] und [15]).

Als **Strukturparameter** dienen faunistische Erhebungen mit dem Ziel, standorttypische und vom Bodenzustand abhängige Zersetzergesellschaften aufzuzeigen. Auf den BDF erfolgen periodisch Erhebungen der Bodenfauna. Als Indikatorgruppen werden Regenwürmer und Kleinringelwürmer (Anneliden) erfasst, die stellvertretend für die Makro- und Mesofauna stehen und wesentlich an der Zersetzung und Mineralisierung der organischen Substanz beteiligt sind [17]. Die Annelidenzönose und die entsprechenden Erfassungsmethoden entsprechen allen Anforderungen, die an die Eignung von Indikatorarten für zoologische Langzeituntersuchungen gestellt werden: Wichtig hierfür ist die ökologische Relevanz der Art im Boden, ausreichende Individuen- und Artendichten auch in unterschiedlich genutzten Böden über eine weite geographische Verteilung und über Jahre hinweg gleich effiziente, nicht durch kurzzeitige äußere Einwirkungen (z.B. Trockenheit) beeinflusste Erfassungsmethoden, ausreichend Literatur zur Artbestimmung sowie eine arbeitstechnische „Machbarkeit“ (vgl. [18]). Bezüglich der Schadstoffbelastung muss die Exposition über den Boden erfolgen, Empfindlichkeiten müssen gegenüber Schadstoffen bestehen und der Kenntnisstand über Ökologie und Biologie der Organismen muss ausreichend sein, um Reaktionen interpretieren zu können (vgl. [19]). Diskrepanzen zwischen Zersetzergesellschaft und Humusform bzw. eine Artverschiebung der Zersetzergesellschaft durch Säureeinträge wurde bereits an Waldmessstationen (u.a. BDF Schwaney) und Naturwaldzellen der LÖBF festgestellt [17]. Allgemein lässt sich anhand der Zusammensetzung der Annelidenzönose, welche maßgeblich am Streuabbau in und auf Böden beteiligt ist, auf den Bodenzustand schließen. Somit hat sich die Erhebung der Annelidenzönose auf BDF für bodenzoologische Auswertungen als besonders geeignet erwiesen (vgl. [20]) und bietet eine adäquate Informationsgrundlage zur Beurteilung der Lebensraumfunktion der Böden. Die einzelnen Parameter und ihre Indikatorfunktion sind in folgender Tabelle (**Tab.3.2.2**) zugeordnet.

Die Aussagekraft und Sensibilität der oben genannten Parameter gegenüber den auf BDF vorrangig zu bearbeitenden Einflussfaktoren ist bereits mehrfach in der Praxis erprobt und entsprechend in der Literatur beschrieben. Auch Untersuchungen des LUA im Rahmen des Lysimeterversuchs in Waldfeucht ([21] und [22]) zeigten bereits Änderungen der funktionellen Parameter, wie die Erhöhung des Verhältnisses von Basalatmung zu substratinduzierter Atmung unter Stresseinwirkung sowie die Hemmung der Dehydrogenaseaktivität durch Schadstoffbelastungen.

Tab. 3.2.2: Erfassung der Zersetzergesellschaften nach GRAEFE (1993); Anneliden (Regenwürmer und Kleinringelwürmer) als Indikator-Taxozönose auf Artniveau mit Dominanzstruktur; Auswertung in engem Zusammenhang zur jeweiligen Humusform [17].

Parameter	Indikatorfunktion
Gesamtabundanz der Regenwürmer (Ind./m ²), Gesamtbiomasse der Regenwürmer (g/m ²), Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer (Ind./m ²)	Bodenzoologische Indikatoren der biologischen Aktivität im Boden
Artenzusammensetzung und Artenzahl, Abundanz, Dominanz und Frequenz der Arten	Bodenzoologische Indikatoren der Biodiversität im Boden
Vertikalverteilung der Kleinringelwürmer, sowohl insgesamt als auch auf Gattungs- und Artebene	Zeiger für die vertikale Ausdehnung und Stärke der biologischen Aktivität sowie für aktuell ablaufende biologische Prozesse
Biomasse und Biomassedominanz der Regenwurmart	Zeiger für die ökologische Bedeutung der Arten
Qualitative und aggregierte Parameter: Lebensformtypen- und Strategietypen-Spektren, Zeigerwert-Spektren und mittlere Zeigerwerte und Zersetzergesellschaftstyp	Indikatoren für die integrale Wirkung ökologischer Faktoren auf den biologischen Bodenzustand bzw. die Bodenbiozönose

3.3 Probenahme und Probenaufbereitung

Die Probenahme für die Untersuchung der physikalisch-chemischen und der bodenbiologischen Parameter erfolgt auf getrennten Probenahmeflächen innerhalb eines wenig heterogenen Areals der bodenkundlich kartierten Vorauswahlfläche nach bestimmten Mustern der Stichprobenentnahme. Stammnahme Bereiche wurden bei allen Beprobungen der BDF aufgrund zu erwartender Stammabfluss-Effekte ausgelassen.

3.3.1 Probenahme für physikalische und chemische Untersuchungen

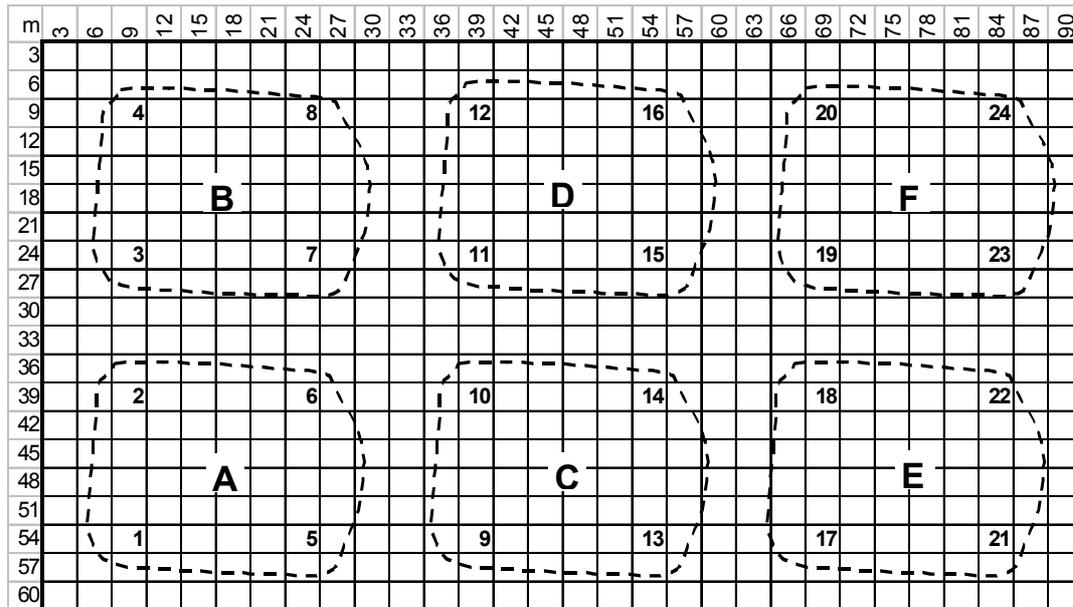
Die Probenahme für die physikalischen und chemischen Untersuchungen erfolgt auf einer etwa 5000 m² großen Probenahmefläche. Dabei wird die Fläche in 3 x 3 m große Stichprobenflächen unterteilt. Auf 24 davon gleichverteilt ausgewählten Stichprobenflächen werden tiefenbezogen die Bodenproben für die Erstuntersuchung und für die erste Probenrückstellung entnommen. Bei der darauf folgenden Beprobung werden 24 andere Stichprobenflächen ausgewählt, um durch die erste Probenahme entstandenen Störungen zu entgehen.

Die Probenahme der organischen Auflagen (L/Of- und Oh-Horizont) - sofern vorhanden - und des mineralischen Oberbodens (Ah-Horizont) bis 10 cm erfolgte mittels Stechrahmen 30 x 30 cm und die der Mineralbodenproben ab 10 cm mit einer Rammkernsonde nach DIN 4021 an 5 Einstichstellen pro Stichprobenfläche. Der Bohrdurchmesser beträgt 60 mm und ab 90 cm Bohrungstiefe 50 mm. Bei sehr skelettreichen² Böden (bisher nur BDF Velmerstot) werden die Bodenproben von 3 Wänden einer Profilgrube pro Stichprobenfläche entnommen. Die organischen Auflagemassen werden flächenbezogen mit einem Stechrahmen, die Mineralbodenproben aus 6 Bohrkernen oder 3 Profilwänden pro Ein-

² Hoher Anteil an groben Bodensubstrat mit Äquivalentdurchmesser > 2 mm.

zelfläche tiefenbezogen mit einem Bohrstock entnommen und per Hand homogenisiert. Bei jeder Probenahme werden 24 aus der Fläche ausgewählte 3 x 3 m große Einzelflächen beprobt. Mit Ausnahme der BDF Kleve Tannenbusch werden jeweils die Proben von vier Einzelflächen zu einer Mischprobe vereinigt, so dass insgesamt sechs Feldparallelen im Labor aus den Einzelproben nach gleicher Methodik vereinigt werden. In **Abbildung 3.3.1** wird die beschriebene Probenahme visualisiert.

Abb. 3.3.1: Beispielhafte Probenahmeskizze auf einer 60 x 90 m großen BDF-Teilfläche für bodenphysikalische und -chemische Untersuchungen



Die Formen der BDF-Probenahmeflächen werden den Gegebenheiten vor Ort wie z.B. Nutzungsgrenzen angepasst.

1-24 Stichprobenflächen von der Größe 3 x 3 m

A-F Mischprobengruppen A, B, C, D, E, F aus je 4 Stichprobenflächen für die Laboranalyse, in der Regel zufällig verteilt.

Die Bodenprobenentnahme erfolgt allgemein tiefenbezogen nach dem Verfahren der Bodenzustandserfassung im Wald (BZE) [23]. Die Proben werden aber zusätzlich geteilt, wenn Horizontgrenzen innerhalb einer Tiefenstufe deutlich visuell unterscheidbare Bereiche trennen. Der Übergang eines extrem ausgewaschenen Ae-Horizont zu einem mit den verlagerten Huminstoffen und Eisenoxiden angereicherten Bhs-Horizont innerhalb einer Tiefenlage wäre ein solches Beispiel.

Die Auflagehorizonte L und Of werden zusammen und der Oh-Horizont einzeln entnommen. Die Probenahmetiefen [cm] für Wald und Grünland sind in folgender Auflistung dargestellt:

Wald	L+Of	Oh	0-2	-5	-10	-30	-60	-90	-140	-200
Grünland/ Parkrasen				0-5	-10	-30	-60	(-90)		

Die Probenahme unter Wald und auf Referenzflächen erfolgt bis zur Bodenentwicklungstiefe und maximal bis 200 cm. Unter Grünland oder Park werden Proben bis 60 und maximal 90 cm Tiefe entnommen, wenn ausschließlich die Schwermetallakkumulation in Böden untersucht werden soll.

3.3.1.1 Probenaufbereitung

Die aus Bohrkernen oder Profilwänden entnommenen feldfrischen Tiefen- und Horizontproben werden bei einer Temperatur von maximal 40 °C luftgetrocknet. Die flächenbezogen entnommenen Auflagehorizontmengen der Waldböden werden nach der Trocknung gewogen und die Menge der organischen Auflage in g/m² berechnet. Die Mineralbodenproben werden auf 2 mm (Feinboden) gesiebt. Die Fraktion > 2 mm (Skelett) wird ebenso wie der Feinboden (< 2 mm) gewogen und daraus der Steingehalt [in Gewichts-%] ermittelt. Die Auflagehumusproben werden vor dem Mahlen gehäckselt, so dass die Proben in verschiedene Aliquots unterteilt werden können. Ein Teil der Feinbodens- und der gehäckselten Auflagehumusproben wird zur Ermittlung einiger physikalischer und chemischer Parameter analysenfein gemahlen. Ein weiterer aliquoter Teil der luftgetrockneten Proben wird verpackt und in der Bodenprobenbank archiviert.

3.3.1.2 Archivierung der Rückstellproben in der Bodenprobenbank

Jeweils ein Aliquot (800 - 1000 g) jeder Probe, die bei der Erstuntersuchung bereits auf zahlreiche physikalische und chemische Parameter untersucht wurde, wird in eindeutig gekennzeichneten PE-Beuteln (Auflagehumus) oder in PE-Dosen (Feinerdeproben des Mineralbodens) mit einer Restfeuchte < 15 % verpackt eingelagert. Die Lagerung im Rückstellprobenlager erfolgt trocken (< 50 % relative Luftfeuchte) und bei ausgeglichener Temperatur von etwa 20° C (± 5° C).

3.3.2 Probenahme für bodenbiologische Untersuchungen

Die Probenahmen für die bodenbiologischen Untersuchungen erfolgen auf einer vergleichbaren und ebenfalls möglichst homogenen Fläche in unmittelbarer Nachbarschaft zur Untersuchungsfläche für bodenphysikalische und chemische Erhebungen.

3.3.2.1 Mikrobiologische Untersuchungen

a) auf Waldflächen:

Die Probenahme für die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt nach anfänglich jährlicher Beprobung periodisch im Turnus von 3 Jahren auf allen Flächen im Frühling nach Auftauen der Böden und vor Beginn der Vegetationsperiode. Um die natürliche zeitliche Variabilität der mikrobiologischen Bodenparameter auf den Dauerbeobachtungsflächen zu erfassen, ist eine jährliche Beprobung in den ersten 5 Untersuchungsjahren erforderlich [18]. Danach wurde im Weiteren zeitlichen Abstand beprobt, um vor allem eine natürliche Entwicklung der Böden und Humusaufgaben nicht durch zu intensive Probenahmen zu stören. Auf die Beprobung der diesbezüglich besonders empfindlichen Humusaufgabe wurde teilweise gänzlich verzichtet, wenn sich eine zukünftig zu starke Veränderung infolge der Probenahme abzeichnete. Die eingemessene und ausgepflochte mikrobiologische Teilfläche wird dazu in 18 Teilflächen (6 Streifen à 3 Rechtecke) unterteilt und durchnummeriert (**Abb. 3.3.2.1**). Von jedem Probenahmepunkt wird durch Schätzung die Lage innerhalb des jeweiligen Rechtecks bestimmt und in eine Lageskizze eingetragen. In den folgenden Jahren werden immer andere Probenahmepunkte innerhalb der Teilfläche ausgewählt.

Abb. 3.3.2.1: Probenahmeplan einer 30 x 30 m großen Untersuchungsfläche:

I3 3	II3 6	III3 9	I6 12	II6 15	III6 18
I2 2	II2 5	III2 8	I5 11	II5 14	III5 17
I1 1	II1 4	III1 7	I4 10	II4 13	III4 16

Erläuterung:

I, II, III = Mischproben

I1, I2, I3,... = Teilproben der Mischprobe

1-18 = Nummerierung der Teilflächen

Bei der Probenahme werden von der Gesamtfläche 3 Mischproben aus dem Ah-Horizont und (falls vorhanden) dem Oh-Horizont entnommen. Für jede dieser Mischproben werden 6 Probenahmepunkte (ein Punkt in jedem Rechteck) festgelegt.

Die Mischprobe I wird immer den Rechtecken 1, 2, 3, 10, 11 und 12,

die Mischprobe II den Rechtecken 4, 5, 6, 13, 14 und 15,

die Mischprobe III den Rechtecken 7, 8, 9, 16, 17 und 18 entnommen (Abb. 3.3).

An jedem Probenahmepunkt erfolgen (je nach Ergiebigkeit) 1 - 3 Einstiche mit einem Wurzelbohrer. Das Bodenmaterial wird aus den einzelnen Einstichproben getrennt nach feinhumusreichen Auflagehorizont (Oh) und mineralischen Oberboden (Ah-Horizont) von 0-10 cm Tiefe gesammelt und je nach Mischprobe getrennt in Polyethylenbeuteln verpackt und gekühlt ins Labor transportiert.

Wenn die Gesamtfläche aus mehr als einer Fläche besteht (z.B. Kleve-Rehsol), wird die Auswahl der 6 Probenahmepunkte je Mischprobe so modifiziert, dass immer eine gleichmäßige und nachvollziehbare Verteilung der Probenahmepunkte gewährleistet ist.

Weiterhin wird bei der Festlegung des Termins der bodenbiologischen Probenahme beachtet, dass keine untypischen Verhältnisse im Bodenwasserhaushalt wie extreme Vernässung oder Trockenheit herrschen.

b) auf Grünlandstandorten:

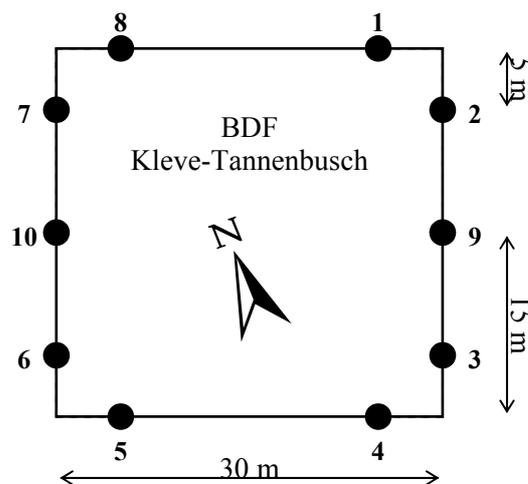
Die Probenahme erfolgt annähernd analog zu dem Schema auf den Waldstandorten. Die Beprobung der Grünlandflächen erfolgt jährlich, da hier nicht von einer Störung der Entwicklung ausgegangen werden muss und nur der Mineralboden beprobt wird. Ein weiterer Unterschied ist die Probenahme mit dem Pürckhauer-Bohrstock anstelle eines Wurzelbohrers. Nach Beseitigung einer eventuell vorhandenen L/Of-Auflage werden die Proben aus den obersten 10 cm entnommen (Ah-Horizont). Bei insgesamt 3 Mischproben werden je Mischprobe 20 – 30 Einstiche über die Fläche verteilt.

Sämtliche Proben von Wald- und Grünlandstandorten werden feldfrisch im Kühlschrank bei + 4 °C maximal einen Monat gelagert und auf < 4 mm gesiebt. Für die mikrobiologischen Untersuchungen, die nicht innerhalb eines Monats durchführbar sind, wird der Boden entsprechend der Anzahl der zu untersuchenden Parameter aufgeteilt, in Polyethylenbeuteln getrennt verpackt und anschließend bei - 18 °C tiefgefroren. 5 - 7 Tage vor der Untersuchung wird der Boden im Kühlschrank bei + 4 °C aufgetaut. Rückstellproben für spätere Analysen werden sofort bei - 18 °C tiefgefroren und bei Bedarf ebenfalls 5 - 7 Tage vor der Messung bei + 4 °C im Kühlschrank aufgetaut.

3.3.2.2 Faunistische Untersuchungen

Die bodenzoologische Probenahme und Probenextraktion nach GRAEFE et al. [24] erfolgen auf jeder Fläche periodisch in einem Turnus von 5 Jahren. Auf der Außenlinie der bodenbiologischen Kernfläche oder in unmittelbarer Nähe dieser werden dazu 10 Probenahmepunkte für Enchytraeiden und Regenwürmer gleichmäßig angeordnet (**Abb. 3.3.2.1**), um die Fläche so wenig wie möglich zu stören.

Abb. 3.3.2.1: Verteilung der Probenahmepunkte um die bodenmikrobiologische Untersuchungsfläche am Beispiel der BDF in Kleve-Tannenbusch.



Für die Erfassung der Regenwürmer werden mit einem Stechring je Einzelprobe zwei 250 cm² große, 10 cm tiefe Bodenausstiche entnommen und in Polyethylenbeuteln verpackt. Im Labor werden die Tiere zunächst von Hand ausgelesen und der Boden anschließend 5-10 Tage in einem Kempson-Apparat getrocknet, um kleinere Individuen zu erfassen, die bei der Handauslese übersehen wurden. Die Austreibung der anözischen (tiefgrabenden) Regenwürmer mit einer formaldehydhaltigen Reizlösung erfolgt bei der Erstuntersuchung auf jeder Fläche und bei den Wiederholungsuntersuchungen nur auf den Flächen bei denen anhand der Auflagehumusform ein Vorkommen dieser Tiere zu erwarten ist. Hierzu wird eine 0,25 cm² große Fläche mit einem in den Boden gedrückten Metallring abgegrenzt und mit 10 Liter einer 0,4 %igen Formalinlösung übergossen. Die abgesammelten Würmer werden in NOTOXbioTM fixiert und im Labor bis zur Art bestimmt und gewogen.

Für die Erfassung der Kleinringelwürmer wird mit dem Stechzylinder eine 10 cm tiefe Bodenprobe mit einer Einstichfläche von 19,63 cm² entnommen. Jede Probe wird in vier Tiefenstufen von je 2,5 cm unterteilt (0 - 2,5 cm; 2,5 - 5 cm; 5 - 7,5 cm und 7,5 - 10 cm), um Aussagen über die vertikale Verteilung der Tiere im Boden treffen zu können. Im Labor werden die Kleinringelwürmer mit der Wassertauchmethode nach GRAEFE [25] aus den Bodenproben extrahiert. Die Bestimmung und Zählung der lebenden Tiere erfolgt mikroskopisch.

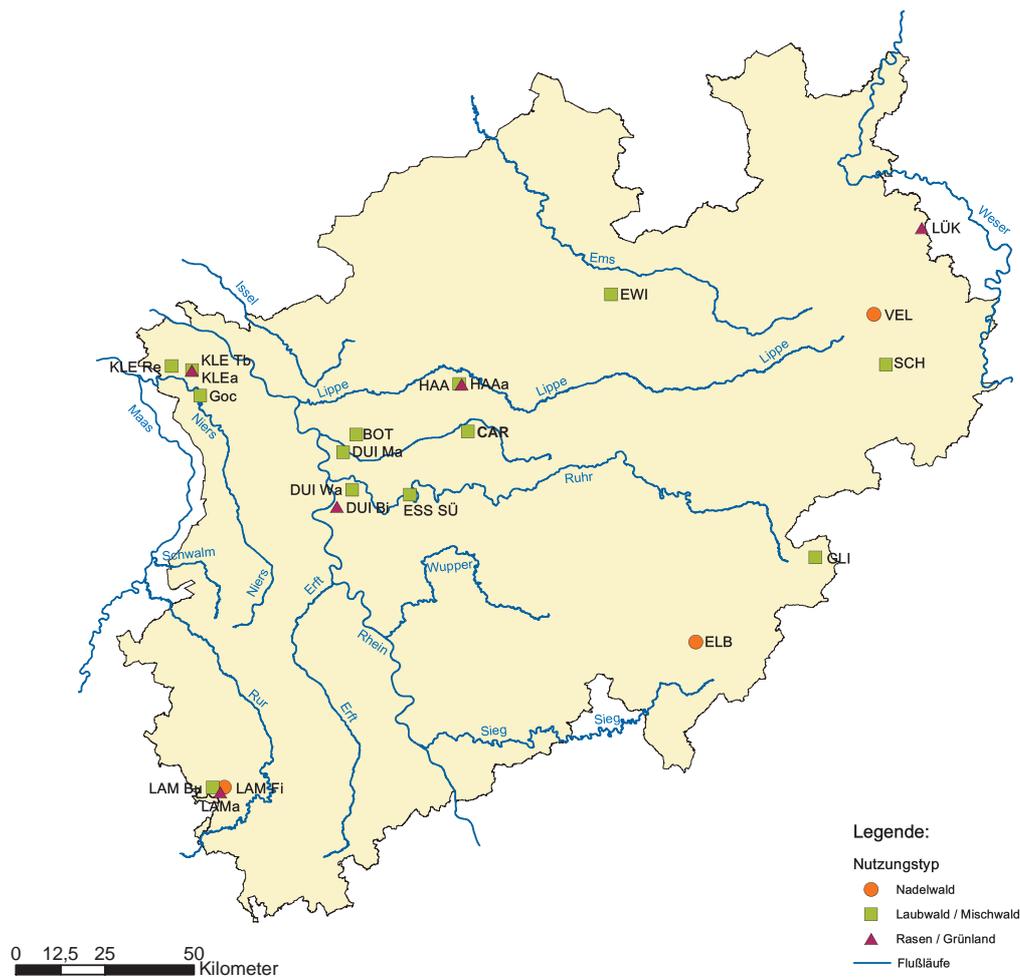
4. Realisierte BDF (Stand 2004)

Entsprechend der Entscheidungskriterien für die Auswahl von BDF in NRW (vgl. Kapitel 2.2) standen bisher Standorte mit zu erwartenden, vergleichsweise hohen Immissions- und Schwermetallbelastungen im Vordergrund. Aus diesem Grund wurden zu Beginn des Dauerbeobachtungsprogramms nur Waldböden, die auf Schadstoffeinträge nachweislich besonders sensibel reagieren, ausgewählt. Erst später kamen weitere belastungsbeeinflusste Standorte auf Grünland und eine innerstädtische Parkfläche hinzu. Sieben der Waldflächen sind gleichzeitig als Dauerbeobachtungsflächen in das Level II-Programm³ der europaweiten Waldzustandsüberwachung integriert.

4.1 Lage und Übersichtsverzeichnis der einzelnen Beobachtungsflächen

Abbildung 4.1 zeigt Lage und Nutzung der einzelnen BDF. Auf einigen Flächen werden verschiedene Nutzungen an einem Standort untersucht, was durch unterschiedliche Symbole hervorgehoben wird.

Abb. 4.1: Lage und Nutzung der Bodendauerbeobachtungsflächen in Nordrhein- Westfalen



³ Intensiviertes, zusätzliches Dauerbeobachtungs-Programm für Waldökosysteme an ausgewählten Standorten. Dieses EU-weite Level II-Flächennetz des "International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP-Forests der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa, UN/ECE)" basiert auf der so genannten "Genfer Luftreinhaltekonvention", der "Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen".

4.2 Beschreibung der einzelnen BDF

Im Folgenden werden die Standortverhältnissen der einzelnen Bodendauerbeobachtungsflächen kurz charakterisiert. Ausführlichere Beschreibungen, Bodenkarten und sonstige Daten zu den Flächen sind im Anhang zu finden. Die Kartierung erfolgte durch den GD NRW [26].

BDF-Nr. 1.1	Lammersdorf Fichte (LAM Fi)
Lage:	Aachen, Eifel (TK 25 Blatt 5303 Roetgen)
Höhe:	570 m über NN, nordexponierter Hang
Klima:	7,7° C und 1112,9 mm Niederschlag im langjährigen Jahresdurchschnitt (Station Kalltalsperre/Roetgen)
Flächennutzung:	Nadelwald mit Fichten (Forst)
Bodentyp/Bodenform:	Braunerde-Pseudogleye aus holozänen Umlagerungsprodukten (Holozän) über Solifluktsdecke (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Phyllit (Kambrium).
Bodenart:	schluffiger Lehm
Humusform:	feinhumusarmer rohhumusartiger Moder mit ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 4 - 5 cm
Nährstoffversorgung:	basenarm, pH (KCl) bis 10 cm Tiefe 2,6 - 3,0
BDF-Nr. 1.2	Kleve Tannenbusch (KLE Tb)
Lage:	Kleve, Niederrheinisches Tiefland (TK 25 Blatt 4203 Kalkar)
Höhe:	28 m über NN, Ebene (< 0,1°)
Klima:	9,6° C und 754,1 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Kleve)
Flächennutzung:	Laubwald (Forst): Eiche und Rotbuche
Bodentyp/Bodenform:	Pseudogley-Braunerde aus Löß (Weichsel-Kaltzeit) über Schmelzwasserabflüssen (Saale-Kaltzeit, Pleistozän).
Bodenart:	lehmiger Schluff
Humusform:	feinhumusarmer Moder mit mäßig günstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: etwa 4 cm
Nährstoffversorgung:	basenarm, pH (KCl) bis 10 cm Tiefe zwischen 2,9 - 3,1
BDF-Nr. 1.3	Kleve Rehsol (KLE Re)
Lage:	Kleve, Niederrheinisches Tiefland (TK 25 Blatt 4202 Kleve)
Höhe:	35 m über NN, Ebene (< 0,1°)
Klima:	9,6° C und 754,1 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Kleve)
Flächennutzung:	Laubwald (Forst)
Bodentyp/Bodenform:	Pseudogley-Braunerden und Pseudogley-Parabraunerden aus Löß (Weichsel-Kaltzeit) über Schmelzwasserabflüssen (Saale-Kaltzeit, Pleistozän).
Bodenart:	lehmiger Schluff
Humusform:	basenarmer Moder mit mäßiger bis geringer Zersetzung, Mächtigkeit: 7 - 8 cm
Nährstoffversorgung:	basenarm, pH (KCl) bis 10 cm zwischen 2,8 - 3,2

BDF-Nr. 1.4**Velmerstot (VEL)**

Lage: Velmerstot, Ostwestfalen (TK 25 Blatt 4119 Horn-Bad Meinberg)
Höhe: 400 - 425 m über NN, stark geneigt (10 - 15°)
Klima: 9,0° C und 1258,8 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Bad Lippspringe)
Flächennutzung: Nadelwald mit Fichte (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Braunerde-Podsole und Podsole aus Solifluktiionsdecke (Pleistozän)
Bodenart: lehmiger Schluff bis schluffiger Lehm
Humusform: feinhumusreicher rohhumusartiger Moder mit ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 7-10 cm
Nährstoffversorgung: sehr basenarm, pH (KCl) bis 18 cm Tiefe 2,5 - 2,6

BDF-Nr. 1.5**Elberndorf (ELB)**

Lage: Elberndorf, Sauerland-Siegerland (TK 25 Blatt 4915 Wingshausen)
Höhe: 675 m über NN, Gipfelverebnung, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
Klima: 6,4° C und 1323,1 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Willingen-Upland)
Flächennutzung: Nadelwald mit Fichte (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley-Braunerde aus Solifluktiionsdecke (Pleistozän)
Bodenart: sandiger bis schluffiger Lehm
Humusform: feinhumusarmer rohhumusartiger Moder mit mäßig günstigen bis ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 7 cm
Nährstoffversorgung: sehr basenarm, pH (KCl) bis 10 cm Tiefe 2,6 - 3,0

BDF-Nr. 1.6**Glindfeld (GLI)**

Lage: Glindfeld, Sauerland-Siegerland (TK 25 Blatt 4718 Goddelsheim)
Höhe: 545 m über NN, Oberhang, stark geneigt (10 - 15°)
Klima: 6,4° C und 789,8 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Willingen-Upland)
Flächennutzung: Laubwald mit Rotbuchen und vereinzelt Eichen (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Typische Braunerden aus Solifluktiionsdecke (Pleistozän) über Tonstein (Oberdevon)
Bodenart: schluffiger Lehm
Humusform: feinhumusreicher Moder mit mäßig günstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 5 cm
Nährstoffversorgung: mäßig basenhaltig, pH (KCl) bis 30 cm Tiefe 3,2 - 3,7

BDF-Nr. 1.7**Haard (HAA)**

Lage: Haard, Ruhrgebiet (TK 25 Blatt 4309 Recklinghausen)
Höhe: 75 m über NN, Ebene, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
Klima: 9,5° C und 813,7 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Münster)
Flächennutzung: Laubwald/Mischwald mit Rotbuchen und Kiefern (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Braunerde-Podsole aus Umlagerungsprodukten (Holozän) über Solifluktiionsdecke (Pleistozän)
Bodenart: schluffiger Sand
Humusform: feinhumusreicher Rohhumus mit sehr ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 12 - 14 cm
Nährstoffversorgung: sehr basenarm, pH (KCl) bis 28 cm Tiefe 3,0 - 3,3

BDF-Nr. 1.8**Schwaney (SCH)**

Lage: Schwaney, Eggegebirge, südlicher Teutoburger Wald (TK 25 Blatt 4219)
 Höhe: etwa 400m über NN
 Klima: 7 - 8° C und 1000-1100 mm Niederschlag im langjährigen Mittel
 Flächennutzung: Laubwald mit Rotbuche
 Bodentyp/Bodenform: Braunerden, Pseudogley-Braunerden
 Bodenart: schluffiger Lehm bis lehmiger Ton
 Humusform: Mull im Übergang zu feinhumusarmem Moder
 Nährstoffversorgung: mäßig basenhaltig, pH (KCl) bis 30 cm Tiefe 3,8 - 4,0

BDF-Nr. 1.9**Duisburg Wald (DUI Wa)**

Lage: Duisburg, Niederrheinische Bucht (TK 25 Blatt 4506 Duisburg)
 Höhe: 81 m über NN, Terrasse, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
 Klima: 11° C und 748,4 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Duisburg-Laar)
 Flächennutzung: Laubwald mit Rotbuchen (Forst)
 Bodentyp/Bodenform: Podsol-Braunerden aus Soliflukationsdecke (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Terrassenablagerung (Altpleistozän) über präquartärem Sand (Oligozän, Tertiär), Braunerde, vereinzelt Pseudogley
 Bodenart: schluffiger Sand
 Humusform: feinhumusreicher rohhumusartiger Moder mit mäßig günstigen bis ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 10-12 cm, durch Kalkung in Auflösung begriffen: teilweise F-Mull
 Nährstoffversorgung: basenarm, pH (KCl) bis 30 cm Tiefe 3,5 – 4,3

BDF-Nr. 1.10**Essen-Süd (ESS Sü)**

Lage: Essen-Stadtwald, Ruhrgebiet (TK 25 Blatt 4508 Essen)
 Höhe: 137 m über NN, Oberhang, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
 Klima: 9,6° C und 882,5 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Essen-Bredeney, Wetteramt)
 Flächennutzung: Mischwald mit Rotbuchen und Fichten (Forst)
 Bodentyp/Bodenform: Pseudogley-Braunerden aus technogenem Material (Holozän) über Soliflukationsdecke (Pleistozän) über Tonstein (Bochum-Schichten, Oberkarbon)
 Bodenart: toniger Schluff
 Humusform: feinhumusarmer rohhumusartiger Moder mit mäßig günstigen bis ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 8 - 12 cm
 Nährstoffversorgung: sehr basenarm, pH (KCl) bis 14 cm Tiefe 3,0 - 3,2

BDF-Nr. 1.11**Bottrop (BOT)**

Lage: Bottrop/Gladbeck, Ruhrgebiet (TK 25 Blatt 4407 Bottrop)
 Höhe: 63 m über NN, Ebene, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
 Klima: 9,6° C und 882,5 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Essen-Bredeney, Wetteramt)
 Flächennutzung: Laubwald mit Rotbuchen und untergeordnet Eichen (Forst)
 Bodentyp/Bodenform: Pseudogleye aus Geschiebedecksand (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän über Grundmoräne (Saale-Kaltzeit, Pleistozän)
 Bodenart: schwach lehmiger Sand
 Humusform: feinhumusreicher rohhumusartiger Moder mit mäßig günstigen bis ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 10 - 15 cm, früher (vor Kalkung) Rohhumus
 Nährstoffversorgung: basenarm, pH (KCl) bis 20 cm Tiefe 3,5 - 3,8

BDF-Nr. 1.12**Castrop-Rauxel (CAR)**

Lage: Castrop-Bladenhorst, Ruhrgebiet (TK 25 Blatt 4407 Bottrop)
Höhe: 71 m über NN, Hangmulde, schwach geneigt (2 - 5°)
Klima: 9,8° C und 784,8 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Dortmund Hauptfriedhof)
Flächennutzung: Laubwald mit Rotbuchen (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley aus Geschiebedecksand (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Grundmoräne (Saale-Kaltzeit, Pleistozän) über Mergeltonstein (Emscher-Mergel, Oberkreide)
Bodenart: lehmiger Sand
Humusform: feinhumusreicher rohhumusartiger Moder bis Rohhumus mit ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 12 - 17 cm
Nährstoffversorgung: basenarm, pH (KCl) bis 30 cm Tiefe 3,2 - 3,3

BDF-Nr. 1.13**Lammersdorf Buche (LAM Bu)**

Lage: Lammersdorf, Aachen, Eifel (TK 25 Blatt 5303 Roetgen),
Höhe: 435 - 460 m über NN, nordexponierter Hang
Klima: 6 - 7° C und 1100 mm Niederschlag im langjährigen Jahresdurchschnitt (Station Kalltalsperre)
Flächennutzung: Buchenwald mit vereinzelt Fichten (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley aus holozänen Umlagerungsprodukten, über Solifluktsdecke (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Phyllit (Kambrium).
Bodenart: schluffiger Lehm
Humusform: rohhumusartiger Moder bis Rohhumus mit ungünstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 4 - 5 cm
Nährstoffversorgung: basenarm, pH (CaCl₂) bis 10 cm Tiefe 3,5 - 3,7 (Eisen-Pufferbereich)

BDF-Nr. 1.14**Everswinkel (EWI)**

Lage: Everswinkel, Kreis Warendorf, Münsterland (TK 25 Blatt 4013, Warendorf)
Höhe: 64 m über NN, schwach nach Norden geneigt (< 1°)
Klima: 9 - 9,5° C und 750 mm Niederschlag im langjährigen Mittel
Flächennutzung: Laubwald mit Stieleiche, Hain- und Rotbuche
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley
Bodenart: lehmiger Sand und toniger Lehm
Humusform: mullartiger Moder
Nährstoffversorgung: sehr basenarm, pH (KCl) bis 30 cm Tiefe 2,7 - 3,3

BDF-Nr. 1.15**Goch (GOC)**

Lage: Goch, Niederrheinisches Tiefland (TK 25 Blatt 4303 Uedem)
Höhe: 16 m über NN, Ebene, nicht geneigt (< 1°)
Klima: 9,6° C und 696,2 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station)
Flächennutzung: Laubwald mit Erlen und wenigen Birken und Buchen (Forst)
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley-Gley aus fluviatiler Ablagerung (Holozän) über Hochflutablagerung (Weichsel-Spätglazial bis Holozän)
Bodenart: lehmig-sandiger Schluff bis schluffig-sandiger Lehm
Humusform: feinhumusarmer typischer Moder mit mäßig günstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: 5 - 7 cm
Nährstoffversorgung: basenarm, pH (KCl) bis 13 cm Tiefe 3,0 - 3,3

BDF-Nr. 2.1**Duisburg Mattlerbusch (DUI Ma)**

Lage: Duisburg, Niederrheinische Bucht (TK 25 Blatt 4506 Duisburg)
Höhe: 30 m über NN
Klima: 11° C und 748,4 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Duisburg-Laar)
Flächennutzung: Laubwald auf ehemaliger Ackerfläche
Bodentyp/Bodenform: Braunerden, Pseudogley- und Gley-Braunerden aus Hochflutablagerungen (Pleistozän) über Terrassenablagerung (Pleistozän)
Bodenart: sandig-lehmiger Schluff und schluffig-lehmiger Sand
Humusform: Feinhumusartiger Moder bis F-Mull
Nährstoffversorgung: mäßig basenhaltig, pH (CaCl₂) bis 10 cm Tiefe 3,6-3,8

BDF-Nr. 2.2**Duisburg Biegerhof (DUI Bi)**

Lage: Duisburg, Niederrheinische Bucht (TK 25 Blatt 4506 Duisburg)
Höhe: 39 m über NN, Terrasse, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
Klima: 11° C und 748,4 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Duisburg-Laar)
Flächennutzung: Park
Bodentyp/Bodenform: Typische Braunerden aus Hochflutablagerung (Holozän)
Bodenart: sandig-lehmiger Schluff
Humusform: F-Mull mit günstigen Zersetzungsbedingungen, Mächtigkeit: etwa 3 cm
Nährstoffversorgung: basenreich, pH (KCl) bis 10 cm Tiefe 4,2 - 5

BDF-Nr. 3.1**Kleve außerhalb Wald (KLE a)**

Lage: Kleve, Niederrheinisches Tiefland (TK 25 Blatt 4203 Kalkar),
Höhe: 28 m über NN, Ebene (< 0,1°)
Klima: 9,6° C und 754,1 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Kleve)
Flächennutzung: Obstwiese
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley-Braunerden und Pseudogley-Parabraunerden aus Löß (Weichsel-Kaltzeit) über Schmelzwasserabflüssen (Saale-Kaltzeit, Pleistozän).
Bodenart: lehmiger Schluff
Humusform: kein Auflagehumus
Nährstoffversorgung: basenreich, pH (KCl) bis 10 cm Tiefe 4,9 - 5,3

BDF-Nr. 3.2**Lütkenberg (LÜK)**

Lage: Lütkenberg, Ostwestfalen (TK 25 Blatt 3920 Extertal)
Höhe: 239 m über NN, Hangrücken, mittel geneigt (6 - 10°)
Klima: 9,3° C und 845,9 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Bad Salzuflen)
Flächennutzung: Wiese
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley-Parabraunerden und Parabraunerden aus Solifluktsdecke (Pleistozän) – Hauptlage über Mittellage über Basislage
Bodenart: toniger Schluff
Humusform: kein Auflagehumus
Nährstoffversorgung: basenreich, pH (KCl) bis 15 cm Tiefe 4,6 – 4,8

BDF-Nr. 3.4**Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a)**

Lage: Eifel, Aachen (TK 25 Blatt 5303 Roetgen, Eifel),
Höhe: 435 - 460 m über NN, nordexponierter Hang
Klima: 6 - 7° C und 1100 mm Niederschlag im langjährigen
Jahresdurchschnitt (Station Kalltalsperre)
Flächennutzung: Wiese
Bodentyp/Bodenform: Pseudogley aus holozänen Umlagerungsprodukten, über Soliflukti-
onsdecke (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Phyllit (Kambrium)
Bodenart: schluffiger Lehm
Humusform: kein Auflagehumus
Nährstoffversorgung: Kartierdaten stehen noch aus

BDF-Nr. 3.5**Haard außerhalb Wald (HAA a)**

Lage: Haard, Ruhrgebiet (TK 25 Blatt 4309 Recklinghausen)
Höhe: 75 m über NN, Ebene, sehr schwach geneigt (1 - 2°)
Klima: 9,5° C und 813,7 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (Station Münster)
Flächennutzung: extensiv genutztes Grünland
Bodentyp/Bodenform: Braunerde-Podsole aus Umlagerungsprodukten (Holozän) über Soliflukti-
onsdecke (Pleistozän)
Bodenart: schluffiger Sand
Humusform: kein Auflagehumus
Nährstoffversorgung: Kartierdaten stehen noch aus

5. Verwaltung der BDF-Daten

Die Bodendauerbeobachtung ist ein langfristig angelegtes Monitoring-Programm. Nutzbar bleiben die erhobenen Daten auf lange Sicht aber nur, wenn auch das Datenmanagement langfristig in Qualität und Struktur gesichert bleibt. Auswertungen von Zeitreihen aller erhobenen Parameter sollen auch künftigen Bearbeitern möglich sein, wofür eine Beschreibung dieser Daten und ihrer Gewinnung sowie ein komfortabel und nachvollziehbar zu bedienendes System zur Datenspeicherung und späteren Auswertung unabdingbar sind.

Neben der im Rahmen der Dauerbeobachtung gewonnenen Daten selbst, sollen Informationen über die folgenden Punkte - sogenannte Metainformationen - in dieses System eingebunden werden:

- verwendete Geräte, Verfahren und Zeitpunkt der Probenahme,
- Personal und beteiligte Arbeitsgruppen,
- untersuchte Parameter, ihre Bestimmungsmethoden und deren Maßeinheiten sowie
- BDF- und Stichprobenfläche (Koordinaten, Skizzen zu Probenahme etc.).

Ihre Erfassung ist notwendig, um Personalwechsel, Änderungen in der Analysemethodik oder andere bei langfristig angelegten Projekten einer gewissen Fluktuation unterliegende Faktoren, die für die Interpretation der Daten notwendig sein können, sicher zu dokumentieren.

Andererseits bleibt zu berücksichtigen, dass die Bodendauerbeobachtung in Kooperation von LUA, LÖBF und GD durchgeführt wird. Die von den unterschiedlichen Institutionen gewonnenen Daten müssen sowohl für die speziellen Aufgaben der jeweiligen Kooperationspartner, als auch für übergreifende Betrachtungen mit Bezug zur Langzeitbeobachtung ausgewertet werden können. Ein gemeinsames Fachinformationssystem für Bodendauerbeobachtungsflächen (FIS BDF) wird angestrebt.

5.1 System-Konzept FIS BDF

Auf Basis einer Analyse der Prozessketten innerhalb der Bodendauerbeobachtung von Probenahme bis zur Ermittlung der Ergebnisse für die gesamte BDF-Kooperation wurden durch die Firma DIS ein System-Grob- sowie ein fachliches Feinkonzept erstellt [26].

Fachliche Belange der Projekt-Mitarbeiter des Dauerbeobachtungsprogramms fanden somit intensiven Einbezug in die folgende technische Umsetzung des Datenmanagementsystems.

Die schrittweise Realisierung wurde darüber hinaus permanent von der speziell für diese Belange von Vertretern des GD, der LÖBF und des LUA gebildete Arbeitsgruppe „AG FIS BDF“ begleitet.

5.1.1 Datengrundlagen

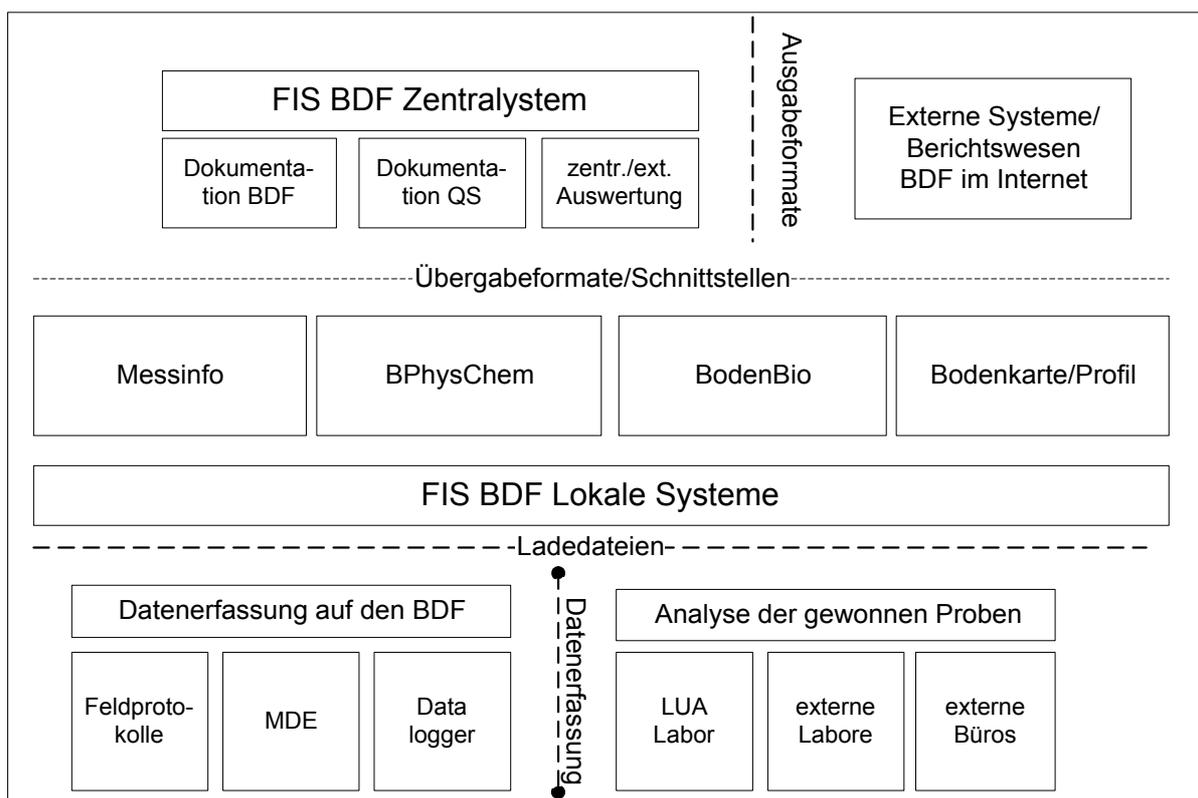
Im FIS BDF sollten alle Daten zusammengefügt erfasst, gepflegt und verwaltet werden, die im Rahmen der Messprogramme der Bodendauerbeobachtung gewonnen werden. Neben den Kernarbeitsbe-

reichen Bodenchemie und -physik sowie Bodenbiologie, die im LUA angesiedelt sind, sollen auch die vom Geologischen Dienst (GD NRW) und der LÖBF auf den Flächen erhobenen Daten in das FIS BDF integriert werden.

5.1.2 Architektur des FIS BDF

Das von DIS erstellte Konzept zur Systemarchitektur wurde auf Basis der durchgeführten Prozessanalyse entwickelt und somit auf die technische Unterstützung der Fachanwender im Umgang mit den Daten ausgerichtet. Alle oben genannten Datengrundlagen sollten unter hierarchischer Struktur in die Systemarchitektur einbezogen werden. Alle Projektmitarbeiter sollen Zugriff auf jegliche Daten der Bodendauerbeobachtung haben. **Abbildung 5.1.2** zeigt eine Übersicht über die konzipierte FIS BDF-Architektur.

Abb. 5.1.2: Übersicht zur FIS BDF-Architektur (nach [27])



Der Ablauf der Datenverwaltung im FIS BDF nach DIS stellt sich in etwa wie folgt dar: Nach der Probenahme werden Dokumente generiert, welche Informationen aus dem Feldprotokoll, Methoden und Feldmessdaten enthalten. Neben diesen Daten sollen Auswertungen und Ergebnisse der Analysen aus den eigenen oder externen Laboren oder anderer Auftragnehmer als Dateien teilweise fremder DV-Systeme in die Datenbank gespeist werden.

Über adäquate Schnittstellen sollen diese fremden Dateien eingelesen werden. Das System sollte modular mit den lokalen Teilsystemen „Messinfo“ für Daten zur Deposition, zum Sickerwasser usw., „BPhysChem“ für bodenphysikalische und bodenchemische Parameter, „BodenBio“ für bodenbiologische Parameter, „Bodenkarte/Profil“ für bodenkundliche Daten und den zentralen Systemen für die Dokumentation der Bodendauerbeobachtung und der Qualitätssicherung (QS) sowie für die zentralen Auswertungen aufgebaut werden. Diese modulare Ausrichtung des gesamten Datenbanksystems bietet den Vorteil, jederzeit Ergänzungen oder eine Erweiterung der Inhalte durch die Implementierung neuer Module vornehmen zu können. Eine dynamische und anpassbare Struktur des Systems wird auf diese Weise sichergestellt.

5.2 Umsetzung FIS BDF

Die Umsetzung des modularen Konzepts entsprechend der vorgeschlagenen Architektur setzt voraus, dass sich die beteiligten Partner soweit wie möglich abstimmen. Dem Abstimmungsprozess sind Grenzen gesetzt, wenn die Rahmenbedingungen der technischen Umsetzung der einzelnen Konzepte nicht übereinstimmen. Dies führte dazu, dass die Module von GD, LÖBF und LUA unabhängig voneinander entwickelt wurden.

Der Geologische Dienst verfügt über das Fachinformationssystem Bodenkunde als Teil des Bodeninformationssystems BIS NRW. Es enthält zurzeit neben dem Informationssystem Bodenkarte im Bearbeitungsmaßstab 1 : 50 000 mit einer Vielzahl von Spezialauswertungen unter anderem die Datenbank BodenProfil [28]. In dieser Datenbank sind Punktinformationen zum Bodenzustand an verschiedenen Standorten in NRW gespeichert. Alte Kartierungen wurden digital aufbereitet und in das System eingebunden. Derzeit wird die Datenbank auf eine ORACLE-basierte Lösung umgestellt. Die Daten für die BDF werden exportiert und auf CD den Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt.

Bei der LÖBF befindet sich ein waldökologisches Informationssystem im Aufbau. Dazu werden die Daten aus „Messinfo“ von den Level II – Flächen, von denen sieben Flächen ins Bodendauerbeobachtungsprogramm integriert sind, derzeit in die ORACLE-basierte Datenbank ECO eingebunden. ECO funktioniert auf Basis einer Client-Server-Architektur und wurde im Rahmen der Forstinventur entwickelt und eignet sich zur Verwaltung jeglicher Stoffhaushaltbetrachtungen. Die technische Umsetzung zur Haltung der Daten aus den Modulen des LUA wird im folgenden Kapitel beschrieben.

5.3 Umsetzung der lokalen Systeme BPhys/Chem und BodBio

Die Programmierung einer Datenbank für die Module BPhys/Chem und BodenBio des LUA wurde an die Firma OEKO-DATA vergeben, die sich bereits durch die Entwicklung verschiedener Datenbanken im Umweltbereich als kompetent und im Rahmen einer Ausschreibung als wirtschaftlichster Bewerber erwiesen hatte.

Zur Haltung des Datenmaterials der beiden Teilbereiche wurde eine Access 97-basierte Datenbank nach den oben genannten Anforderungen des Datenmanagements für das Boden-Monitoring im Auftrag des Landesumweltamts konzipiert und entwickelt.

Die rechtliche Grundlage zur Einrichtung eines Datenbanksystems für die Bodendauerbeobachtung bieten § 21 Absatz 4 des BBodSchG [3] und § 6 Absatz 3 des LbodSchG [4], die bereits unter 1.4 zitiert wurden.

Die Anforderungen an Datenbearbeitung und Auswertung wurden durch Verwendung des Frontend/Backend-Prinzips umgesetzt. Das Frontend als lokale Bedienungsoberfläche ist dynamisch mit der auf dem Server abgelegten Backend-Version, in der die Daten physisch gespeichert werden, verknüpft. Mehrere Benutzer können zeitgleich an verschiedenen Frontends arbeiten und dort ihre Daten validieren (fachliche Abnahme), bevor die Daten zur weiteren Auswertung freigegeben werden. Lauffähig ist das System auf den einzelnen Arbeitsplatzrechnern und dem Netzwerk unter WINDOWS 9x, NT und 2000. Für das Jahr 2004 ist im Rahmen einer Umstellung der internen Betriebssysteme auf WINDOWS 2003 eine Systemaktualisierung von ACCESS-97 auf ACCESS 2003 als Grundlage für die Datenbank geplant. Im Rahmen dieses Upgrades sollen auch kleinere Änderungen und Anpassungen im System vorgenommen werden.

5.3.1 Aufbereitung der Datenbestände

Die Erfassung der bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Parameter als Kernbereich der Bodendauerbeobachtung in das FIS BDF ist bereits bis zum aktuellen Zeitpunkt erfolgt. Der jährliche Aufwand zur Dateneingabe und Systempflege und folglich auch das gesamte Datenvolumen der vom LUA erhobenen Daten hat sich als relativ gering erwiesen. Im Vergleich zu den kontinuierlichen Messungen der LÖBF, die beispielsweise in der atmosphärischen Stoffdepositionsmessung in zeitlich hoher Frequenz anstehen, weisen die BDF-Daten des LUA nur einen geringen Umfang auf. Nach der Ersterfassung sinkt der Aufwand erheblich, da Wiederholungsbeprobungen bei den bodenchemischen und -physikalischen Parametern nur alle zehn Jahre, bei den bodenfaunistischen alle 5 Jahre und bei den mikrobiologischen Parametern nach der jährlichen Beprobung innerhalb der ersten fünf Jahre nur noch im Turnus von 3 Jahren erfolgen.

5.3.2 Datenimport, Datenflüsse und Schnittstellen

Ein Großteil der Analysen wird extern vergeben. Um den Zeitaufwand zur Einbindung der Daten ins System möglichst gering zu halten, wurde ein Modul entwickelt, das eine mit der Datenbank kompatible, gesonderte ACCESS-Datei erstellt, die den Auftragnehmern zur Verfügung gestellt werden kann und später die Datenübertragung in die Datenbank erheblich vereinfacht. Weiterhin besteht die Möglichkeit der manuellen Dateneingabe.

Die Validierung der Ergebnisse nach der Eingabe ins System wird über die notwendige Prüfung der Daten, die zur Freigabe der Daten für spätere Auswertungen erfolgen muss, erreicht. Die notwendige fachliche Qualität der Rohdaten wird auf diese Weise gesichert.

Eine weitere Vereinfachung zur Einbindung extern erhobener Daten ist im Rahmen des geplanten System-Upgrades auf ACCESS 2003 geplant. Da die ACCESS-Datei für die Weitergabe an Auftragnehmer bisher auf geringe Akzeptanz gestoßen ist, soll auf EXCEL umgestellt werden.

Die Datenbank verfolgt neben einer langzeitigen Haltung der Rohdaten in einfachen, zeitreihenorientierten Tabellen das Ziel, anhand von Datenbankabfragen miteinander in Beziehung stehende Parameter jederzeit einfach auswerten zu können. Neben den Rohdaten beinhaltet das System einige automatisierte Berechnungen, die standardmäßig bei der Auswertung anstehen. Dazu zählen die Berechnung volumen- und tiefenbezogener Mengen (Vorratsberechnungen) sowie einfache statistische Angaben wie Mittelwert, Minimum und Maximum, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Varianz und die Anzahl der Feldparallelen.

Die Interpretation der Daten wird durch dieses System erheblich vereinfacht und die Aussagequalität langfristig gesichert.

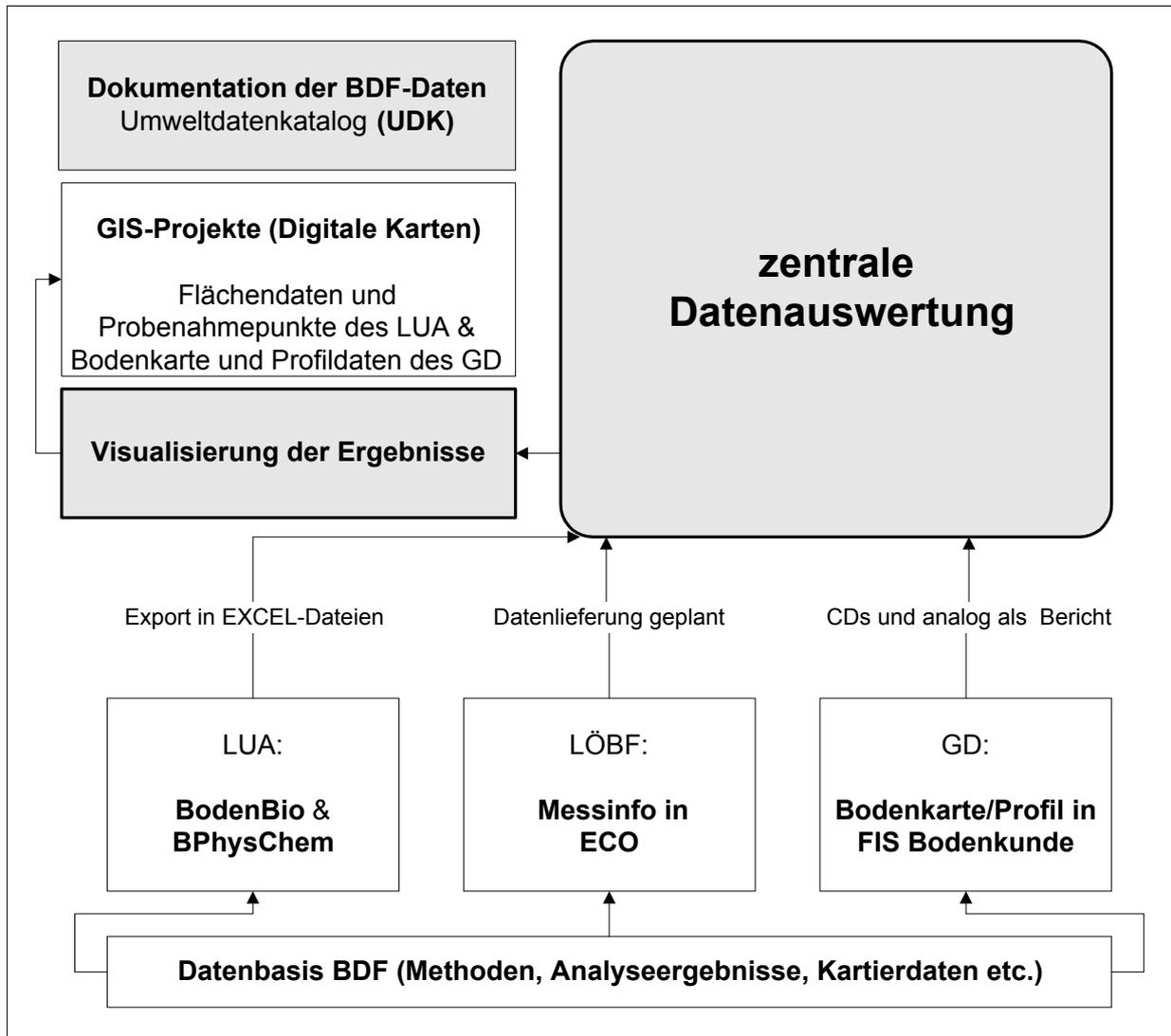
5.4 Übergeordnete Auswertungen des FIS BDF

Für die effektive Auswertung und fachübergreifende Nutzung der Daten wurden in der Datenbanklösung des LUA ebenfalls DV-Werkzeuge zur Verfügung gestellt. Die Ausgabe der Daten erfolgt über einen flexiblen Export ausgewählter Einzel- oder Mittelwerte in EXCEL.

Die Lieferung der Daten des GD (Bodenkarten und Profildaten) erfolgt auf CD. Die Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung mit Raumbezug wie Flächendaten, Bodenkarten und Lage der Profile des GD sowie die Pläne zur Probenahme werden sukzessiv in GIS-Projekten dargestellt. Die Erstellung der entsprechenden digitalen Karten erfolgt mit ArcGIS 8.0 der Firma ESRI. Eine Web-Anbindung zur weiteren Visualisierung und Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse ist geplant. Die Dokumentation der Bodendauerbeobachtung und aller Module des FIS BDF erfolgt im „Umweltdatenkatalog Nordrhein-Westfalen“ (UDK-NRW), der über das Internet (<http://www.udk.munlv.nrw.de>) zugänglich sind.

Abbildung 5.4 zeigt die aktuelle Übersicht der dezentralen Systeme, die Daten zur Auswertung der Bodendauerbeobachtung liefern und diese verwalten.

Abb. 5.4: Aktuelle Systemarchitektur zur Verwaltung und Auswertung der Daten aus der Bodendauerbeobachtung



Das FIS BDF bildet durch sein adäquates Datenmanagement, die GIS-Anbindung und die Dokumentation ein geeignetes Instrument, um fachübergreifende Auswertungen durchzuführen und den Berichtspflichten gegenüber dem Bund und der EU sowie dem Informationsbedarf anderer Institutionen auch langfristig nachkommen zu können.

6. Zusammenfassung

Mit den 21 in Nordrhein-Westfalen bisher eingerichteten Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) sollen nachteilige Trends in der Qualität der Böden kenntlich gemacht werden, bevor schädliche Bodenveränderungen aufgrund externer Belastungen, insbesondere Immissionsbelastungen, eintreten. Nach dem NRW-Konzept sind dafür BDF insbesondere an Standorten eingerichtet worden, an denen Immissionsbelastungen ohne Minderungsmaßnahmen kurz bis mittelfristig zu relevanten negativen Auswirkungen auf die Bodenqualität und zu Einschränkungen von Bodenfunktionen führen können. Hinsichtlich der Schwermetallakkumulation in Böden sind dies lokal bis regional erhöhte Schwermetalleinträge, die insbesondere im näheren Umfeld von Emittenten auftreten. Im Bezug auf die beschleunigte Entbasung und Versauerung von Forstböden hingegen, sind weiter verbreitete und gleichförmiger verteilte Säureinträge als Ursache zu sehen. Ausprägung und Relevanz der Schwermetallakkumulation in Böden hängen dabei wesentlich von der Höhe der Eintragsraten sowie von bodenspezifischen Eigenschaften wie dem pH-Wert und dem Gehalt organischer Substanz ab. Das Maß der Versauerung ist zudem wesentlich von den Säuren puffernden Basenvorräten der Böden abhängig.

Entsprechend den Schwerpunkten Schwermetallbelastung und Versauerung der Böden wurden geeignete Standorte ausgewählt und ein adäquater Untersuchungsturnus festgelegt.

Die Probenahme und die Untersuchung der physikalischen, chemischen und mineralogischen Bodenparameter erfolgten im Rahmen der Ersterhebung zwischen 1995 und 2003. Die erste Wiederholungsuntersuchung soll jeweils etwa 10 Jahre nach der Erstuntersuchung durchgeführt werden.

Dieser Turnus ergibt sich einerseits aus Hochrechnungen der Schwermetallakkumulation in Böden aus Depositionsdaten (s. Abb. 3.1 und Tab. 3.1.1) und andererseits aus der Beobachtung, dass in Forstböden verbreitet die Anteile der basischen Austauschaktionen ab- und die Versauerungsgrade zugenommen haben. Des Weiteren müssen bei den anstehenden Belastungen durch Säureinträge signifikante Unterschiede zwischen Erst- und Zweitbeprobung zu erwarten sein, um eine Wiederholungsbeprobung zu rechtfertigen.

Die bodenbiologischen Untersuchungen wurden auf den BDF bereits mehrfach wiederholt, da Bodenorganismen in ihrer Aktivität schneller auf Umweltveränderungen reagieren und diese biotischen Parameter höheren Schwankungen ausgesetzt sind als die abiotischen Bodenparameter. Die Parameter zur Kennzeichnung der mikrobiellen Biomasse und Aktivität wurden in den ersten 5 Jahren jährlich und danach im Turnus von 3 Jahren untersucht, die bodenfaunistischen Parameter alle 5 Jahre.

Die Bodenuntersuchungen dienen der Beurteilung des Luft- und Wasserhaushaltes, zur näheren Kennzeichnung der Humusform, der mineralischen Vorräte von Nähr- und Schadstoffen, des Versauerungsgrades, der Pufferkapazität gegenüber Säureinträgen sowie der bodenbiologischen Eigenschaften hinsichtlich der Stoffabbau- und Lebensraumfunktion.

Im Rahmen der physikalischen und chemischen Bodenuntersuchungen wurden folgende Parameter bestimmt:

- Humusaufgemasse pro m²,
- Steinanteile (Masse-%),
- Bodentextur (Sand, Schluff und Ton in %),
- Gesamtgehalte von Kohlenstoff und Stickstoff,
- im Königswasser extrahierbare Schwermetalle und Nährstoffe der Böden einschließlich Phosphor und Schwefel sowie sonstige mineralische Bestandteile (mg/kg),
- pH, H⁺-Ionen – Konzentration und
- Kationenaustauschkapazität (effektiv und potenziell),

Im Rahmen des bodenbiologischen Untersuchungsprogramms bestimmte Parameter:

- Mikrobielle Kohlenstoffmineralisation (aktuelle Atmung),
- Substrat-induzierte Respiration (Atmung nach Glucosezugabe),
- mikrobielle Biomasse,
- Dehydrogenaseaktivität,
- respiratorischer Aktivierungsquotient,
- Verhältnis von mikrobieller Biomasse zu organischem Kohlenstoff (C_{mik}/C_{org}-Verhältnis),
- Gesamtabundanz (Ind./m²) und Gesamtbiomasse (g/m²) der Regenwürmer, Gesamtbiomasse der Regenwürmer,
- Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer (Ind./m²),
- Artenzusammensetzung und Artenzahl, Abundanz, Dominanz und Frequenz der Arten,
- Vertikalverteilung der Kleinringelwürmer, insgesamt und auf Gattungs- und Artebene und qualitative sowie aggregierte Parameter, wie
- Lebensformtypen- und Strategietypen-Spektren, Zeigerwert-Spektren und mittlere Zeigerwerte sowie Zersetzergesellschaftstyp.

Alle im Rahmen der Bodendauerbeobachtung erhobenen Daten und Metainformationen werden in einer speziell dafür angefertigten ACCESS-Datenbank gespeichert. Daten mit räumlichem Bezug sind über ArcGIS in ein Geoinformationssystem (GIS) eingebunden. Eine zusätzliche, ausführliche Dokumentation der Datenbestände und Systeme führt neben den beschriebenen Modulen zu einer langfristigen Sicherung für Auswertungen und Zeitreihenanalysen in diesem „Fachinformationssystem Bodendauerbeobachtungsflächen (FIS BDF)“.

7. Literatur

- [1] Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz SAG (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen; Bericht der Unterarbeitsgruppe „Boden-Dauerbeobachtungsflächen“; Arbeitshefte Bodenschutz 1, Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
- [2] BARTH, N.; BRANDTNER, W., CORDESEN, E.; DANN, T. et al. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen; In: ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; KÖNIG, W.; und G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz, Ergänzbare Loseblattsammlung; Blatt 9152; BOS 32, Lfg. XI/00; Erich Schmid-Verlag, Berlin.
- [3] BBodSchG (BGBl. I, 5702, Nr. 16 vom 24.03.1998, S. 502 - 510).
- [4] BodSchG NRW (Gesetz und Verordnungsblatt NRW, 54. Jg. Nr. 29. S. 439 vom 09.05.2000).
- [5] SCHWEIGLE, V. (1991): Bemessung von Meßintervallen für Dauerbeobachtungsflächen in Boden-Meßnetzen. Z. Pflanzenernähr. & Bodenk. 154:225-226.
- [6] SCHILLING, B. (1994): Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayrischen Geologischen Landesamtes. Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen. GLA-Fachberichte 11. München.
- [7] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ und LANDESUMWELTAMT Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2004): FIS StoBo - Das FachInformationsSystem Stoffliche Bodenbelastung in NRW; Referat Öffentlichkeitsarbeit, Düsseldorf.
- [8] PRINZ, B. (1994): Überlegungen zum Konzept der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in NRW; internes, unveröffentlichtes Dokument.
- [9a] ARBEITSKREIS GROSSMASSTÄBIGE BODENKARTIERUNG (2001): Bodenkarte zur Standorterkundung. Allgemeine Informationen, Zeichenerklärungen, Fachbegriffe. Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), Krefeld, unveröffentlicht.
- [9b] GEOLOGISCHER DIENST NRW: Bodenkarte NRW Maßstab 1:50.000 (BK 50).
- [10] AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., Hannover.
- [11] MEIWES, K.J.; KÖNIG, N.; KHANNA, P.K.; PRENTZEL, J. und B. ULRICH (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 7, Göttingen.
- [12] MEHLICH, A. (1953): J. Assoc. Off. Agric. Chem. 36: 445-457.
- [13] HANDBUCH DER BODENUNTERSUCHUNG (2001): Terminologie, Verfahrensvorschriften und Datenblätter; physikalische, chemische, biologische Untersuchungsverfahren; gesetzliche Regelwerke, [Hrsg. DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.]. Wiley-VCH, Weinheim.
- [14] SCHINNER, F.; ÖHLINGER, R.; KANDELER, E. und R. MARGESIN [Hrsg.] (1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden; Springer Verlag, Berlin.
- [15] ALEF, K. (1991): Methodenhandbuch der Mikrobiologie – Aktivitäten, Biomasse, Differenzierung; Ecomed-Verlag, Landsberg/Lech.

- [16] WERMBTER, N. (1999): Bodenbiologische Eigenschaften von Kippböden im Leipziger und Lausitzer Braunkohlerevier in Abhängigkeit von Substrat, Nutzung, Bodenbearbeitung und Alter; Trierer Bodenkundliche Schriften Band 3, Abteilung Bodenkunde, Universität Trier.
- [17] GRAEFE, U.; GEHRMANN, J. und I. STEMPELMANN (2001): Bodenzoologisches Monitoring auf EU-Level II-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundliche Gesellschaft 96 S. 331-332.
- [18] AG ALPEN-ADRIA (2001): Bodenbiologische Untersuchungsmethoden auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Empfehlungen einer abgestimmten Vorgehensweise der Unterarbeitsgruppe „Bodenbiologie auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ der gemeinsamen Arbeitsgruppe „Bodenschutz“ der Arge Alpen Adria. Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.).
- [19] MEYER, U. und E. BELOTTI (2000): Einschätzung der Bodenqualität mit Hilfe pflanzlicher und tierischer Bioindikatoren; UBA-Text Nr. 36, Berlin.
- [20] GRAEFE, U. (1999): Die Empfindlichkeit von Bodenbiozöosen gegenüber Änderungen der Bodennutzung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundliche Gesellschaft 89 S. 609-612.
- [21] DELSCHEN, T.; HEMBROCK-HEGER, A. und U. NECKER (1996): Systematische Untersuchungen zum Verhalten von PAK und PCB im System Boden/Pflanze auf der Lysimeteranlage Waldfeucht (1989-1994); in: Landesumweltamt NRW [Hrsg.]: Lysimeterversuche zum Verhalten persistenter organischer Schadstoffe im System Boden/Pflanze; Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 13, Essen.
- [22] HAAG, R. und I. STEMPELMANN (2004): Wirkungen von PAK und PCB auf Bodenmikroorganismen - Ergebnisse von Modellversuchen; Jahresbericht 2003 des Landesumweltamts Nordrhein-Westfalen, Essen.
- [23] MELF – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1994) : Bundesweite Bodenzustandserhebung. Arbeitsanleitung, Bonn.
- [24] GRAEFE, U. et al. (1996-2003): Bodenzoologische Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen. Jährliche Berichte im Auftrag des Landes NRW, des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft und des Landesumweltamts Nordrhein-Westfalen.
- [25] DUNGER, W. und H.J. FIEDLER (1997): Methoden der Bodenbiologie, Verlag G. Fischer, Stuttgart.
- [26] GEOLOGISCHER DIENST [Hrsg.] (1996-2003): Bodenkarten zur Standortserkundung; Karten und Verfahren. Auszüge aus dem digitalen Fachinformationssystem Bodenkunde, Krefeld.
- [27] DIS INFORMATIONSSYSTEME GMBH (1997): Fachfein- und DV-Grobkonzept für das Fachinformationssystem Bodendauerbeobachtung (FIS BDF) des Landesumweltamtes NRW. Abschlußbericht.
- [28] Geologischer Dienst NRW (2004): Informationen zum Geodaten-Service – Datenbank Bodenprofil. Internetseite URL: http://www.gd.nrw.de/1_dbopr.htm [03.03.04]