Texte
66
02
ISSN
0722-186X

Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland

Ergebnisse aus den Ländern

Workshop,
veranstaltet vom Umweltbundesamt
am 16. und 17. April 2002

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von 7,50 Euro
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet II 5.2
Beate Werner

Berlin, Dezember 2002

Inhalt

Inhalt		i
Zusammenfassung		1
Programm		2
Eröffnung	*W. Schenkel (UBA)*	4

Vorträge **7**

Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg – Konzeption, Methoden, Ergebnisse	*P. Dreher, T. Nöltner, M. Schöttle*	7
Raumgültigkeit, Datenbezug und Datentypen am Beispiel von BDF in Niedersachsen	*B. Kleefisch (NLfB, NI)*	17
Qualitätssicherung im forstlichen Umweltmonitoring durch Methodendokumentation und deren datentechnische Integration am Beispiel der chemischen Analytik	*N. König, A. Schulze*	28
Länderübergreifenden Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen	*G. Huschek, M. Kayser*	37
Boden-Dauerbeobachtung und integriertes ökologisches Monitoring	*R. Schultz-Sternberg, M.Oelze*	47
Dauerbeobachtung von Waldböden als integraler Bestandteil des forstlichen Umweltmonitoring in Niedersachsen	*H. Meesenburg, A. Schulze, K.J. Meiwes*	55
Konzeption und Auswertungsziele der Bodendauerbeobachtung in NRW unter besonderer Berücksichtigung prioritärer Fragestellungen	*F. Metzger (LUA, NW)*	66
Betrieb von BDF und Untersuchungsschwerpunkte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern	*Ch. Müller, G. Henkelmann*	72
Bodenbiologische Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen	*J. Bauchhenß (LBP, BY)*	81
Boden-Dauerbeobachtungsflächen als Zeit-Catena auf Kippen des Braunkohlenbergbaus	*P. String, P. Weller*	88

Posterbeiträge **96**

Auswertung einer BDF II am Beispiel Coldiz: Reliktgley-Vega aus Auensand über tiefem Fluvikiessand	*N. Barth, R. Symmangk, H. Forberg*	96
Versauerung und Stickstoffsättigung an Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz	*J. Block*	101

Boden-Dauerbeobachtung in Hessen am Beispiel der Intensiv-BDF Frankfurt/M Flughafen *K.-H. Emmerich, U. Drolshagen, D. Fritzsch K. Lügger, S.Stern* 111

Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein *A. Hildebrandt* 117

Entwicklung von Pedotransferfunktionen zur Prognose des Schadstofftransportes in der ungesättigten Zone *G. Meyenburg, J. Utermann, H.-E. Gäbler, W.H.M. Duijnisveld* 122

Ergebnisse der Bodengefügeuntersuchungen auf den Thüringer Dauerbeobachtungsflächen *R. Paul* 127

Level I und Level II der EU in den sächsischen Wäldern *G. Raben, H. Andreae, F. Leube,F. Symossek* 132

Veränderung bodenchemischer Parameter von den 60-er Jahren bis heute *G. Raben,H. Andreae, F. Symossek, W. Katzschner, R.Gemballa* 137

Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen *A. Schubert* 139

Teilnehmerliste 143

Zusammenfassung

Seit Mitte der 1980er Jahre sind in Deutschland in den Bundesländern Boden-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet worden. Einrichtung und Betrieb der Flächen wurden dabei zwischen den Ländern abgestimmt. Erste Abstimmungen sind bereits 1991 in der Unterarbeitsgruppe „Boden-Dauerbeobachtungsflächen" im Auftrag der Sonderarbeitsgruppe „Informationsgrundlagen Bodenschutz", Vorläufer des LABO stä A 2, getroffenen worden. Maßgebliches Gremium zur Harmonisierung von Einrichtung und Betrieb der Flächen war dann die 1996 eingerichtete ad hoc AG „Boden-Dauerbeobachtung" des ständigen Ausschuss 2 „Informationsgrundlagen" der Bund/Länder AG Bodenschutz (LABO).

Die grundlegenden Aufgaben, die die Boden-Dauerbeobachtung für den Bodenschutz zu erfüllen hat, können unter drei Oberbegriffen zusammengefasst werden:

- Dokumentation
- Monitoring
- Beweissicherung

Mittlerweile sind die Flächen in allen Bundesländern ein- oder mehrmals beprobt worden. Eine Fülle von Ergebnissen sind ausgewertet und in einzelnen Länderberichten veröffentlicht worden.

Es liegen damit nun seit einigen Jahren Erfahrungen mit dem Betrieb der Flächen vor. Dabei sind v.a. Fragestellungen zu Methoden, Datenhaltung und möglichen Auswertungen bearbeitet und weiterentwickelt sowie Kooperationen mit anderen Umweltbereichen vertieft worden.

Letzte bundesweite Tagungen hatten 1995 in Magdeburg zur Konzeption, 1997 in Freiberg speziell zu Analysemethoden und 1998 in Freising zu den ersten Ergebnisse stattgefunden. 2001 hat die Präsentation des Landes Niedersachsen zum dortigen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm eine große Resonanz gefunden. Das Umweltbundesamt sah daher Interesse und Bedarf an einer bundesweiten Tagung, zum aktuellen Stand der Boden-Dauerbeobachtungsprogramme in Deutschland.

Bedarf zum Informationsaustausch bestand vor allem zu den Fragen, die mit dem laufenden Betrieb der BDF über einen längeren Zeitraum zusammenhängen.

Angesprochen werden sollten:

- Fragen zur Auswertung,
- räumliche und zeitliche Signifikanz von Ergebnissen,
- zeitliche und methodische Kontinuität der Beprobung,
- Vernetzung mit anderen Programmen in Betrieb und Auswertung (Forst, Landwirtschaft).

Um die bundesweite Zusammenschau der Ergebnisse der Boden-Dauerbeobachtung zu forcieren, führt das Umweltbundesamt ein Vorhaben zur länderübergreifenden Auswertungen von Daten der Boden-Dauerbeobachtung durch. Vor diesem Hintergrund bestand von Seiten des UBA das Interesse den Dialog mit den Ländern zu den möglichen Auswertungen und den Ergebnissen von BDF zu vertiefen.

Die Veranstaltung diente einerseits v.a. den Ländern als Diskussionsplattform zum gegenseitigen Austausch und zur Darstellung ihrer jeweiligen Ergebnisse, andererseits auch dem UBA und dem Forschungsnehmer als Unterstützung und Information zum F&E -Vorhaben.

Das Programm der Tagung war in 2 Blöcke unterteilt, die jeweils mit einer Diskussion abgeschlossen wurden:

1) *Methoden und Vergleichbarkeit*: Hier ging es um Erfahrungen, die man bei Einrichtung und Betrieb der BDF gesammelt hatte und um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der verschiedenen Standorte und Länderprogramme.
2) *sektorale und mediale Integration*: Hier stand die Rolle der Boden-Dauerbeobachtung im Verhältnis zu anderen Monitoringprogrammen im Vordergrund. Unter Anderem sollte der Zusammenhang mit dem forstlichen Monitoring diskutiert werden.

Der Teilnehmerkreis setzte sich zusammen aus Ländervertretern der Umweltverwaltungen, Geologischen Dienste und Forstverwaltungen sowie Angehörigen von Universitäten und Instituten, die mit dem Thema Boden-Dauerbeobachtung befasst sind.

Im ersten Block wurden Fragen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität, zur Qualitätssicherung und zu den dV-technischen Vorraussetzungen für eine adäquate Datenhinterlegung diskutiert.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die BDF-Programme in den einzelnen Ländern sich trotz der Bemühungen zur Harmonisierung von Einrichtung und Betrieb z.T. erheblich unterscheiden. Dies betrifft zum Einen methodische Fragen, zum Anderen aber auch grundsätzliche Frage zur Einrichtung und Repräsentativität der Standorte.

Als ein wesentliches Element, mit der die Vergleichbarkeit zwischen den Ländern weiter verbessert werden kann, ist eine kontinuierliche Qualitätssicherung bei der Analytik herausgestellt worden. Als ein positives Beispiel wurde hierzu die Qualitätssicherung im Rahmen der Analytik des forstlichen Monitoring diskutiert.

Um die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu sichern und ggfs. Umrechnungen zum Vergleich mit Ergebnissen anderer Methoden zu ermöglichen, müssen die datenbank-technischen Vorraussetzungen für die Datenhinterlegung entsprechend angepasst werden. Es ist ein lückenlose Dokumentation der Probenaufarbeitung und Analyse notwendig.

Hinsichtlich der länderübergreifenden Auswertung der Daten der BDF (Projekt des UBA), wurde von den Teilnehmern festgehalten, dass ein wesentlicher Teil der Arbeiten im Projekt darauf zielen muss, die Unterschiede zwischen den Programmen in ihrer jetzigen Gestalt weiter heraus zu arbeiten und die Möglichkeiten und Grenzen der Vergleichbarkeit und damit der gemeinsamen Auswertung kritisch zu hinterfragen. Daraus sollen Empfehlungen für den weiteren Betrieb und notwendige Schritte zur weiteren Harmonisierung formuliert werden.

Im zweiten Block stand die sektorale und mediale Integration im Vordergrund. Vorträge und Diskussion verdeutlichten, dass zunehmend medienübergreifende und wirkungsbezogene Betrachtungen gefordert sind und in den Ländern etabliert werden. Neben der Abschätzung von Trends werden dabei auch verstärkt Szenarien und Modellrechnungen durchgeführt.

Insgesamt nimmt die mediale Integration hin zu einer ökologischen Dauerbeobachtung weiter zu. Es müssen dazu sektor- und ressortübergreifend andere Messnetze und Messkampagnen mit genutzt werden. Damit wird es jedoch auch notwendig, Verfahren und Methoden hinreichend zu dokumentieren und ggfs. zu harmonisieren. Hiermit schloss sich der Kreis zur Diskussion des ersten Blockes.

Programm

Dienstag 16. April

Block I - Methoden und Vergleichbarkeit

13^{00}	Begrüßung	*W. Schenkel (UBA)*
13^{15}	Einführung	*B. Werner (UBA)*
13^{30}	Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg – Konzeption, Methoden, Ergebnisse	*T. Nöltner (LFU, BW)*
14^{00}	Variabilität bodenchemischer und bodenphysikalischer Parameter an ausgewählten BDF in Schleswig-Holstein	*M. Filipinski (LaNU, SH)*
14^{30}	*Kaffeepause und Postervorstellung*	
15^{30}	Raumgültigkeit, Datenbezug und Datentypen am Beispiel von BDF in Niedersachsen	*B. Kleefisch (NLfB, NI)*
16^{00}	Konzept der Boden-Dauerbeobachtung in Thüringen und Erweiterung des Messnetzes auf der Grundlage einer Repräsentanzanalyse	*U. Hinrichs (TLUG, TH)*
16^{30}	Qualitätssicherung im forstlichen Umweltmonitoring	*N. König (NFV, NI)*
17^{00}	Länderübergreifenden Auswertung von BDF	*G. Huschek (IUQ GmbH)*
17^{30}	**Diskussion**	
18^{30}	**Ende des ersten Tages**	

Mittwoch 17. April

Block II - sektorale und mediale Integration

9^{00}	BDF und integriertes ökologisches Monitoring	*R. Schultz-Sternberg (LUA, BB)*
9^{30}	Dauerbeobachtung von Waldböden als integraler Bestandteil des forstlichen Umweltmonitoring	*H. Meesenburg (NFV, NI)*
10^{00}	Konzeption und Auswertungsziele der Bodendauerbeobachtung in NRW unter besonderer Berücksichtigung prioritärer Fragestellungen	*F. Metzger (LUA, NW)*
10^{30}	*Kaffeepause*	
11^{00}	Betrieb von BDF und Untersuchungsschwerpunkte auf landwirtschaftlich genutzten BD in Bayern	*C. Müller (LBP, BY)*
11^{30}	Bodenbiologische Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen	*J. Bauchhenß (LBP, BY)*
12^{00}	BDF als Zeit-Catena auf Kippen des Braunkohlenbergbaus	*P. String, P. Weller (LAGB, ST)*
12^{30}	**Diskussion**	
13^{30}	**Ende der Veranstaltung**	

Begrüßung zur Tagung Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern

DuP. Werner Schenkel

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich möchte Sie herzlich zur Veranstaltung „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland" begrüßen.

Die Umweltbeobachtung ist uns im UBA schon lange ein besonderes Anliegen. Der Boden nimmt dabei als Schnittstellenmedium unter den 3 Medien Luft, Wasser, Boden immer eine integrierende, zentrale Stellung ein.

Wozu benötigen wir die Umweltbeobachtung?

In Zeiten knapper Kassen ist das eine gern gestellte Frage. Schließlich würde es doch vielleicht reichen, entsprechende Gesetze zum Schutz der Umwelt zu formulieren, alle Energien in ihre Umsetzung mittels wasserdichter Verordnungen und Erlasse zu stecken. Wichtige Instrumente, die vorangetrieben werden sollten, sind auch ökonomische Instrumente und freiwillige Selbstverpflichtungen. Diese wollen von verwaltungstechnischer und wissenschaftlicher Seite angestoßen und begleitet werden. Das alles ist wichtig und kostet Personal, Zeit und Geld.

Dabei kommt aber eben der Umweltbeobachtung eine nicht zu ersetzende Rolle zu. Es geht zum Einen darum, die Erfolge der Umweltpolitik zu überprüfen, positive und negative Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Für den Boden heißt das: Überprüfung ob unsere Anstrengungen zu bodenschonendem Handeln Früchte getragen haben. Ist die Reduzierung von Schadstoffeinträgen am Bodenzustand ablesbar? Gibt es neue Probleme, mit denen die Böden zu kämpfen haben?

Ein schönes Beispiel, das auch retrospektiv beweist, wie wichtig ein kontinuierliches Monitoring ist, sind die Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit Messungen der Radioaktivität in Bayern, die bereits vor Tschernobyl eingerichtet worden sind. So konnte man über die gesamte Zeit die Belastung sowie den langsamen Rückgang der Radioaktivität verfolgen.

Ein weiteres Beispiel ist das Monitoring der Waldschadensforschung. Hier ließ sich in den vergangenen Jahrzehnten sowohl der Rückgang der Schwefelbelastung, als auch die gleichbleibende Belastung durch Stickstoffeinträge ablesen ebenso wie die Wirkungen, die diese Entwicklungen auf die Ökosysteme und dabei auf die Böden hatten.

Genauso wichtig ist es zum Anderen aber auch, Prozesse zu untersuchen und zu verstehen, die zu einer Gefährdung der Umwelt führen. Das heißt, Monitoringstandorte können und müssen auch als Forschungsplattform dienen. Das gilt natürlich besonders für Standorte mit Intensivuntersuchungen, an denen Eintrags- und Austragsmessungen zur Erfassung des ganzen Ökosystems möglich sind. Hier sind medienübergreifende Betrachtungen notwendig, die Böden im Zusammenhang mit Luft, Wasser und der belebten Umwelt erfassen. An vielen Boden-Dauerbeobachtungsflächen werden ja bereits solche medienübergreifende Untersuchungen durchgeführt. Morgen ist diesem Thema ein ganzer Block gewidmet. Als Schnittstellen-Medium ist der Boden nur im Zusammenhang mit Luft und Wasser, mit den Aspekten Klima, Vegetation und Lebewesen zu verstehen. Er ist nicht nur um seiner selbst

willen zu schützen, sondern v.a. in seinem ökologischen Zusammenhang. Er hat im Ökosystem seine Funktionen, die nachhaltig geschützt seien wollen.

Uns Umweltleuten liegen dabei natürlich v.a. seine natürlichen Funktionen am Herzen. Das heißt seine Funktion als Filter und Puffer und seine Funktion als Lebensraum für Mensch, Tier und Pflanzen. Zu den Pflanzen zählen dabei nicht nur die aus Naturschutzsicht interessanten, sondern auch die, die für uns von wirtschaftlichen Nutzen sind. Ein gesunder Boden ist der erste Garant für gesunde Nahrungsmittel. Die landwirtschaftliche Bodennutzung hat daher immer eine große Umweltrelevanz.

Wichtig scheint mir hier auch noch mal auf die Rolle der Bodenlebewesen hinzuweisen. Immerhin enthält ein Hektar eines guten Gartenbodens 1600 – 3200 kg „tierische Biomasse". Das verteilt sich auf verschiedene größere und kleinere Organismen und hört sich erst einmal recht abstrakt an. Umgerechnet auf besser vorstellbare Großvieheinheiten bedeutet es, das unter der Bodenoberfläche auf einem Hektar etwa 3-5 Kühe weiden. Für ein gesundes Bodenleben müssen sie gesund erhalten und ernährt werden.

Die nachhaltige Gesunderhaltung des Bodens ist eine sehr langfristige Aufgabe. Obwohl es im Boden viele Prozesse gibt, die im Sekundentakt ablaufen, so ist doch die Bodenbildung ein sehr langfristiger Prozess. Sie verläuft über Jahrzehnte bis Jahrtausende. So wie die Bodenbildung sehr lange Zeiträume benötigt, so vollziehen sich auch schädliche Bodenveränderungen z.B. über die langsame Akkumulation von Schadstoffen, Bodenabtrag oder Bodenverdichtung nur sehr langsam. Schon geringe Einträge von Schadstoffen, die in ihrer Konzentration vielleicht den vorhandenen Konzentrationen im Boden ähnlich sind, können zu einer Akkumulation führen, die nach hundert Jahren auf diesen Flächen die Grenzen zur Toxizität überschreitet.

Diese langsamen Prozesse, die Betrachtung über lange Zeiträume, sprengt leicht das menschliche Vorstellungsvermögen. Erst recht aber sprengt sie das Denken in Haushalts- oder Legislaturperioden. Aber genau das sind die Zeiträume, in denen wir denken müssen, wenn wir von Nachhaltiger Entwicklung sprechen. Um so wichtiger ist es Instrumente zur Beobachtung dieser langfristigen Prozesse fest zu installieren. In diesem Sinne ist die Boden-Dauerbeobachtung ein wichtiges Instrument im vorsorgenden Bodenschutz. Sie ist ein wichtiges Instrument in der Operationalisierung einer nachhaltigen Bodennutzung.

Dabei ist natürlich auch immer wieder eine Anpassung der Beobachtung nach den aktuellen Fragestellungen notwendig. Dabei ist es nicht immer leicht zu entscheiden, ob sich ein Problem wirklich erledigt hat, der Prozess rückläufig ist oder nur sehr verlangsamt wurde. Beispiel hierfür ist die Frage der Schwefeleinträge und der Bodenversauerung.

Fest steht, dass in letzter Zeit eine Reihe von Fragen hinzugekommen sind, die der langfristigen Umweltbeobachtung bedürfen. Im Bereich Boden ist die Problematik der Antibiotika und Tierarzneimittel in der Zukunft eine wichtige Frage, die weiter verfolgt werden muss.

Weitere Probleme werden mit dem Ausbringen gentechnisch veränderter Pflanzen auf uns zukommen. Hier ist noch gar nicht abzusehen, wie die Auswirkungen für den Boden aussehen könnten und ob und in welchem Maße Anlass zur Sorge und Handlungsbedarf besteht.

Wie gesagt dürfen wir die klassischen Schadstoffe dabei nicht aus dem Auge verlieren. Es steht zu befürchten, dass die Probleme, die sich aus langfristigen Schadstoffakkumulationen ergeben nicht uns, sondern unsere Kinder und Enkel treffen. Und die würden uns sicher dankbar sein, wenn wir ihnen verlässliche Zahlen überlassen.

Aber was heißt verlässliche Zahlen? Der erste Veranstaltungsblock heute Nachmittag heißt Methoden und Vergleichbarkeit. Das berührt 2 Aspekte, die Vergleichbarkeit im Raum und die in der Zeit. Das heißt unter den eben geäußerten Gedanken zur Nachhaltigkeit, dass man die Messungen über die Zeit vergleichbar halten muss, um langfristige Zeitreihen aufzubauen. Nur das erlaubt es einem, zuverlässige Aussagen zu eventuellen Trends zu treffen. Ich weiß natürlich auch, dass sich das mit dem Aspekt der Vergleichbarkeit im Raum mitunter nicht verträgt. Sie haben ja gerade in den letzten Jahren für Einrichtung und den Betrieb der Boden-Dauerbeobachtungsflächen einige Anstrengungen unternommen, das methodische Vorgehen untereinander abzustimmen. Dabei stand der völligen räumlichen Harmonisierung mitunter ja gerade die Kontinuität in den bereits begonnenen Zeitreihen entgegen. Ein Paradox, dem man sicher nur in kleinen Schritten entkommen kann.

Aber gerade an dieser räumlichen Harmonisierung haben wir als Bund natürlich ein großes Interesse. Eine unserer Aufgaben ist es ein verlässliches bundesweites Bild zum Zustand der Umwelt, auch der Böden darzustellen. Wo stehen wir, was gibt es für Probleme. Die begonnenen Initiativen zum Bodenschutz müssen weiter vorangetrieben werden. Das wird auch in Zukunft trotz Bodenschutzgesetzen in Bund und Ländern, trotz Weiterentwicklung der rechtlichen Grundlagen nicht einfach sein.

Es geht darüber hinaus darum, Lobbyarbeit für den Boden zu leisten. Dabei helfen uns keine archaischen Instinkte der Menschen zum Schutz des Bodens. Regenwürmer haben nur einen sehr geringen Kuschelfaktor und die Wahrnehmung des Normalbürgers, dass der Boden ihn ernährt, ist in der modernen Welt weitestgehend verlorengegangen. Erforderlich ist daher ein intellektueller, vor allem fachlich gesteuerter Prozess der Bewusstseinsbildung zur Verbesserung des Bodenbewusstseins.

Die Boden-Dauerbeobachtung ist Teil dieses Prozesses.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine erfolgreiche, interessante Tagung und einen angeregten, anregenden Gedankenaustausch.

Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg
Konzeption - Methoden - Ergebnisse

Dr. P. Dreher, Dr. T. Nöltner, Dr. M. Schöttle
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 1, 76185 Karlsruhe
Email: peter.dreher@lfuka.lfu.bwl.de oder thomas.noeltner@lfuka.lfu.bwl.de

Abstract: *Soil monitoring in Baden-Württemberg is divided into a basic monitoring program comprising 33 (formerly 155) sites (BDF I) and an intensive monitoring program presently based on 5 sites (BDF II). General characteristics of both monitoring programs are reported; technical instrumentation as well as cost for set-up and operation of BDF II soil monitoring sites are described based on the site "Forst". Selected results and problems as to collection of soil samples from differing sampling area sizes are reported.*

Zusammenfassung*: Die Bodendauerbeobachtung ist in Baden-Württemberg zweigeteilt in ein extensives Basismessnetz mit 33 (ehemals 155) Standorten (BDF I) sowie ein Intensiv-Messprogramm mit z. Zt. 5 Standorten (BDF II). Der Beitrag geht auf wesentliche Charakteristika der beiden Messprogramme ein und stellt am Beispiel der BDF „Forst" die technische Ausstattung, die Einrichtungs- und Betriebskosten von BDF II sowie ausgewählte Ergebnisse vor. Weiterhin wird auf die Problematik unterschiedlicher Kernflächengrößen (400 vs. 1000 m²) eingegangen.*

Keywords: Soil monitoring, heavy metals, organic contaminants
Schlagworte: Bodendauerbeobachtung, Schwermetalle, organische Schadstoffe, Straßenrand, Kosten

1. Konzeption und Zielsetzung der Bodendauerbeobachtung (BDB) in Baden-Württemberg

Bereits 1986 wurde mit dem Bodenschutzprogramm in Baden-Württemberg ein landesweites Messnetz zur Erfassung und Überwachung des Zustandes von Böden eingerichtet. Übergreifendes Ziel der Boden-Dauerbeobachtung ist die Erfassung der Beschaffenheit gebietstypischer Böden, ihres aktuellen Zustandes und ihrer Veränderung im Hinblick auf eine Beeinträchtigung von Bodenfunktionen. Hierdurch soll die Empfindlichkeit der Böden ermittelt und die zukünftige Entwicklung abgeschätzt werden, um rechtzeitig Maßnahmen im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes ergreifen zu können.

Die aus dieser Zielsetzung abgeleiteten Aufgaben der Boden-Dauerbeobachtung werden in zwei Teilmessnetzen bearbeitet. In einem Grundmessnetz (BDF-I) wird an repräsentativen Standorten des Landes die Beschaffenheit von gebietstypischen Böden, d. h. auch deren Stoffbestand festgestellt. Die Aufgaben einer kleineren Anzahl von BDF in einem Intensivmessnetz (BDF-II) bestehen darin, die vielfältigen Einflüsse auf die nur begrenzt belastbaren Böden zu ermitteln sowie die damit verbundenen Veränderungen der Bodenmerkmale zu erkennen und auf ihre Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu prüfen. Hier wird z. B. der Stoffhaushalt der Böden, d. h. Einträge, Austräge und Vorratsänderungen betrachtet. Aufgrund dieser Untersuchungen können Aussagen zu Funktionsbeeinträchtigungen und damit Belastungen getroffen werden. Das Intensivmessnetz umfasst Standorte, die eine geringe Belastbarkeit des Bodens gegenüber den jeweils betrachteten

Einwirkungen (z. B. Schadstoffeintrag) aufweisen, und die diesen Einwirkungen (exogener Veränderungsdruck) verstärkt ausgesetzt sind. Damit soll die BDB gewissermaßen als Frühwarnsystem im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes genutzt werden.

Das bereits im Jahr 1986 eingerichtete Bodenmessnetz Baden-Württemberg mit seinen ursprünglich 155 für die Naturräume und Bodenlandschaften repräsentativen BDF wurde im Jahr 2000 im Hinblick auf eine bundesweit einheitliche Boden-Dauerbeobachtung neu konzipiert. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat im Oktober 1999 einen Bericht zur Einrichtung und zum Betrieb von BDF vorgelegt, mit dem Ziel die Länder-Programme zu vereinheitlichen und daraus künftig Daten für ein bundesweites Monitoring verfügbar zu machen. Auch weiterhin sind die Ziele der Boden-Dauerbeobachtung

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

Aus den 1986 zur Ersterhebung des Ist-Zustands der Böden im Land herangezogenen ***155 Grundmessstandorten*** wurden ***33 Basis-BDF (BDF-I)*** für regelmäßige Untersuchungen ausgewählt. Dabei wurden einerseits landesbezogene Repräsentanzaspekte, andererseits aber auch Kriterien des Bundes zur Auswahl von BDF mit länderübergreifender Repräsentanz berücksichtigt. Von diesen 33 Basis-BDF, deren Dokumentation (Schlagkarteien, etc.) und Ausstattung zunächst entsprechend den neuen Vorgaben teilweise erheblich ergänzt werden mussten, sollen künftig auch Daten für den Bund bereitgestellt werden.

Das vom Ansatz her schon zuvor zweigeteilte Boden-Dauerbeobachtungsprogramm in B.-W. wird somit auf Grundlage der 33 Basismessflächen (BDF-I) und der zur Zeit ***5 Intensivmessflächen (BDF-II)*** für die Prozessdokumentation betrieben (s. Abb. 1). An den BDF I-Flächen werden Wiederholungsuntersuchungen in Zeitabständen von i. d. R. etwa 10 Jahren, bei bodenbiologischen Parametern ggf. auch kürzer, durchgeführt. Die übrigen 122 Grundmessstandorte (von ehemals 155) bleiben in der bisherigen Form erhalten und können zur Klärung landesspezifischer Fragen herangezogen werden.

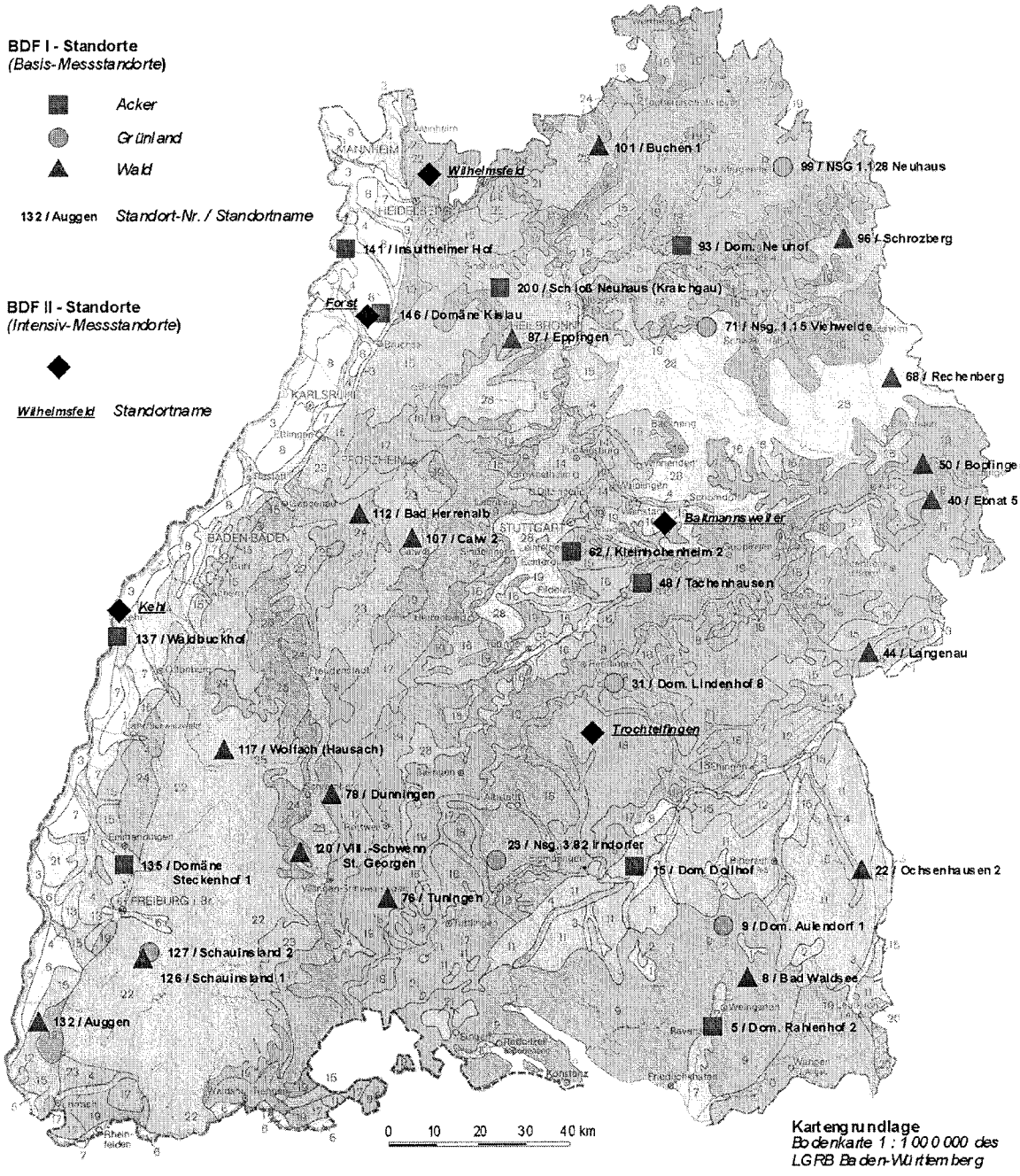


Abb. 1: Standorte des Bodendauerbeobachtungsprogramms Baden-Württemberg sowie BZE-Standorte

Die BDF II-Flächen sind jeweils auf die Untersuchung von Schwerpunktthemen (z. B. Schadstoffeinträge auf Böden über den Luftpfad, Pfad Boden-Pflanze, Abfallverwertung) ausgerichtet. Dazu gehören spezifische und umfangreiche Untersuchungsprogramme (Erfassung von Ein-, Austrägen und turnusmäßigen Veränderungen). Hier wird über Bodenuntersuchungen hinaus auch die Beschaffenheit weiterer Umweltkompartimente (Bodensicker-, Grundwasser, Luft, Pflanzen, etc.) erfasst. Die thematischen Schwerpunkte und Grundcharakteristika der Intensiv-BDF sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Intensiv-BDF (BDF II) in B.-W.

	Betriebs-beginn	Lage über N.N.	Bodentyp/Nutzung	Einwirkung
Forst	1992	107 m	Braunerde aus pleistozänem Sand unter Wald	Verkehr BAB 5 (Frankfurt-Basel)
Wilhelmsfeld	1996	350 m	Podsol-Braunerde (Buntsandstein) unter Wald	Industrieller Ballungsraum Mannheim/Heidelberg
Baltmanns-weiler	1996	510 m	Pseudogley-Parabraunerde (Stubensandstein) unter Wald	Industrieller Ballungsraum Stuttgart/Esslingen
Kehl	1998	135 m	Auenbraunerde unter Grün-land	Industrieller Ballungsraum Kehl/Strasbourg
Trochtelfingen	2002	730 m	Terra fusca unter Ackernutzung	Klärschlammverwertug

2. Messprogramm, Auswertungschwerpunkte und Ausstattung von Intensiv-BDF (BDF II)

Das Intensivmessprogramm:

- Bodeninventuren → 3-jährig
- Sickerwasseruntersuchung → kontinuierlich
- Streumessung → kontinuierlich
- Depositionsmessung → kontinuierlich

Auswertungen im Rahmen des Intensivmessprogrammes:

- Stoffbilanzen auf Grundlage von Boden-, Sickerwasser-, Depositions- und Pflanzendaten
- Auswertungen zu Einzeljahren und Jahresgängen
- standortübergreifende Vergleiche von Stoffflüssen
- Verknüpfungen mit BDF I- Daten

Hinzu kommen standortspezifische Fragestellungen wie

- Stoffeinträge in Ballungsgebieten
- Stoffgehaltsgradienten Straßenrand (Autobahn)
- besondere Schadstoffe wie Coronen, Sb, Pt-Gruppenelemente in Böden und Pflanzen
- Transfer von Stoffen über den Wirkungspfad Pfad Boden-Pflanze
- Stoffdynamik in klärschlammgedüngten Böden (Abfallverwertung)

Ausstattung, Messvorrichtungen von Intensiv-BDF:

Bei der Einrichtung der BDF-II werden je nach Schwerpunktfragestellung folgende Messvorrichtungen eingebaut:

1. Beobachtungs- und Messschacht:
   - Betonringe ca. 3 m tief, min. 2,0 m Durchmesser zur Aufnahme der Bodensensoren und der elektronischen Steuerung

2. Messeinrichtung zur Beprobung der Bodenlösung (Sickerwasser):
   Saugkerzenanlage, i.d.R. in 3 Tiefen mit bis zu 8 Einzelkerzen und automatischer Unterdruckregelung
3. Messeinrichtung zur Bilanzierung des Wasserhaushalts an ausgewählten Standorten
   - Berechnung/Modellierung von Stoffausträgen mit dem Sickerwasser):
   - Niederschlagkippwaage
   - Bodentemperatursensoren in 2 Tiefen
   - Sensoren zur Messung des Bodenwasserstatus: elektron. Druckaufnehmertensiometer in verschiedenen Tiefen (i.d.R. 3 Tiefen) und mit bis zu 3 Parallelen; FDR/TDR-Sensoren mit je 2 Parallelen
   - Elektronische Steuerung und Messwerterfassung bzw. -aufarbeitung (Erfassungsrechner, eingebaute Messtaktsteuerung und entsprechende automatische Datenerfassung)
4. Bodentemperaturmessung (Bodentemperatursensoren in 2 Tiefen)
5. Depositionssammler:
   - Bulk-Depositionssammler (Edelstahltrichter mit Siebeinlage und Vogelschutz, Aluminium-Behälter) mit bis zu 12 Parallelen unter Wald (ca. 8 Parallelen im Freiland)
   - Streusammler auf Flächen unter Wald
6. Stromversorgung (Solarpaneel mit Akku)
7. Umzäunung oberirdischer Messeinrichtungen

Abbildung 2 zeigt die schematische Anordnung der Messvorrichtungen:

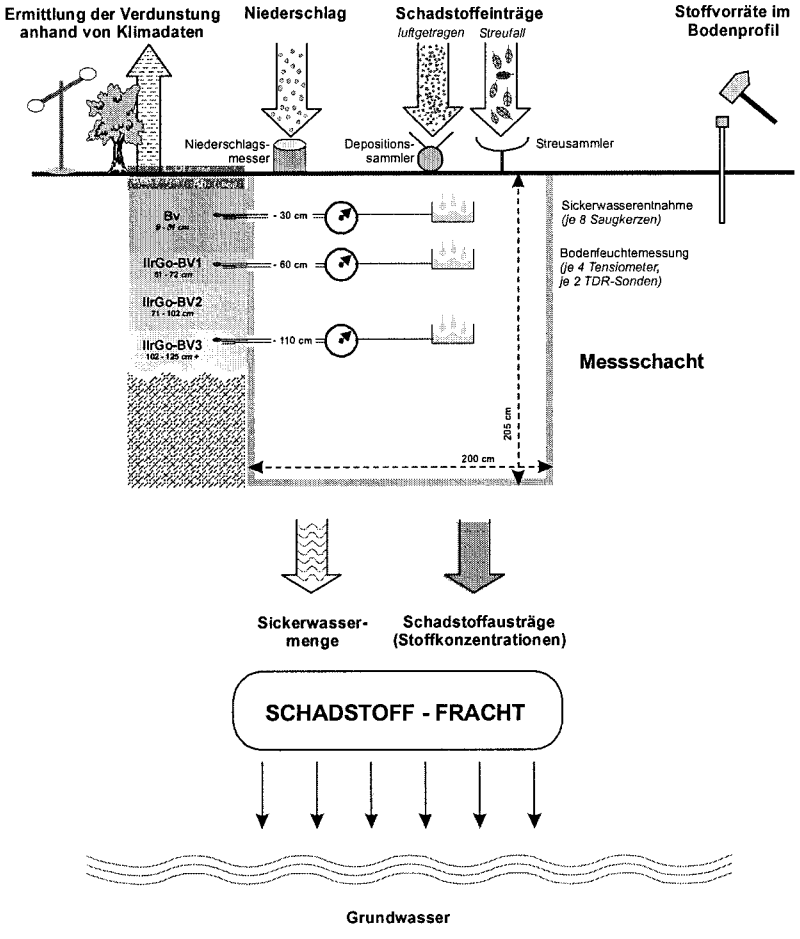


Abb. 2: Messvorrichtungen einer Intensiv-BDF (BDF II)

3. Ausgewählte Ergebnisse der BDF "Forst"

Gesicherte Aussagen zur Entwicklung der Bodenqualität erfordern eigentlich einen längeren Beobachtungszeitraum, als es bisher im Rahmen des 1992 begonnenen Intensiv-BDF-Programms möglich war. Dennoch ergeben sich z. B. an der Messfläche "Forst" erste Hinweise über Veränderungen der Bodenqualität. Die Beobachtungsstation befindet sich an einem stark befahrenen Abschnitt der BAB 5 bei Bruchsal (ca. 100.000 Kfz / täglich) in einer Distanz von 14 bis 18 m vom Fahrbahnrand.

Die bisherigen Ergebnisse (Abb. 3) weisen darauf hin, dass infolge der Umstellung auf bleifreien Kraftstoff die Bleieinträge in straßennahe Böden auf ein ähnlich niedriges Niveau wie an straßenfernen Standorten gesunken sind. So wurde im Jahr 1997 bei einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen von ca. 100.000 Kfz/d (Schwerlastanteil ca. 20 %) ein Bleieintrag von 36 g/ha als Jahressumme gemessen. An der Intensiv-BDF Baltmannsweiler (straßenfern, leeseitig zum Großraum Stuttgart) lag der Bleieintrag im Vergleichsjahr 1998 bei 46 g/ha.

Durch die Verbrennung von Kraftstoffen werden u. a. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) freigesetzt. Hier stellt sich die Situation umgekehrt als bei Blei dar. Im Jahr 1997 wurden an der Messstation Forst 1.925 mg/ha PAK (Summe der 16 Einzelverbindungen nach EPA) in den Boden eingetragen. An der straßenfernen Intensiv-BDF Baltmannsweiler lag der Eintrag bei 1.020 mg/ha. Dies zeigt, dass das Ausmaß und Veränderungen der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs unmittelbar die Böden im Umfeld beeinflussen.

Bei einigen Schwermetallen und PAK-Einzelverbindungen ergibt der Vergleich über 6 Jahre (1992 bis 1998) in erster Näherung eine leichte Zunahme. So stieg der Gesamtgehalt der 16 PAK-Verbindungen im mineralischen Oberboden an der Dauerbeobachtungsfläche Forst von 1.800 µg/kg Boden in 1992 über 2.185 µg/kg in 1995 und auf 2.440 µg/kg in 1998. Bedingt durch die Streubreite der Mittelwerte über den Messzeitraum ist diese Zunahme mit Vorbehalt zu interpretieren. Erst Beobachtungen über einen längeren Zeitraum können statistisch signifikante Ergebnisse liefern.

Gegen den allgemeinen Trend zeichnet sich eine Zunahme der Bleigehalte (analog dazu auch der Bleimengen) von den oberen zu den tieferen Bodenschichten ab. Bedingt durch den niedrigen Boden pH-Wert an der Intensiv-BDF Forst kommt es offensichtlich zur Verlagerung von Blei im Boden bzw. zur Auswaschung mit dem Sickerwasser. Infolge der stark rückläufigen Bleiemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs sind die Neueinträge in den Boden begrenzt. Diese Entwicklung ist für die Bleikonzentrationen in der Auflage statistisch signifikant, im Ah-Horizont als Trend zu erkennen. Eine Zunahme des Bleigehalts wird dagegen im darunter liegenden Bv-Horizont deutlich (Abb. 3).

Bei PCB ergibt sich weder in der Humusauflage noch im mineralischen Ah-Horizont ein klarer Trend über die 6-jährige Beobachtungszeit. Die PCB-Gehalte waren im Jahr 1998 vergleichbar wie in 1992.

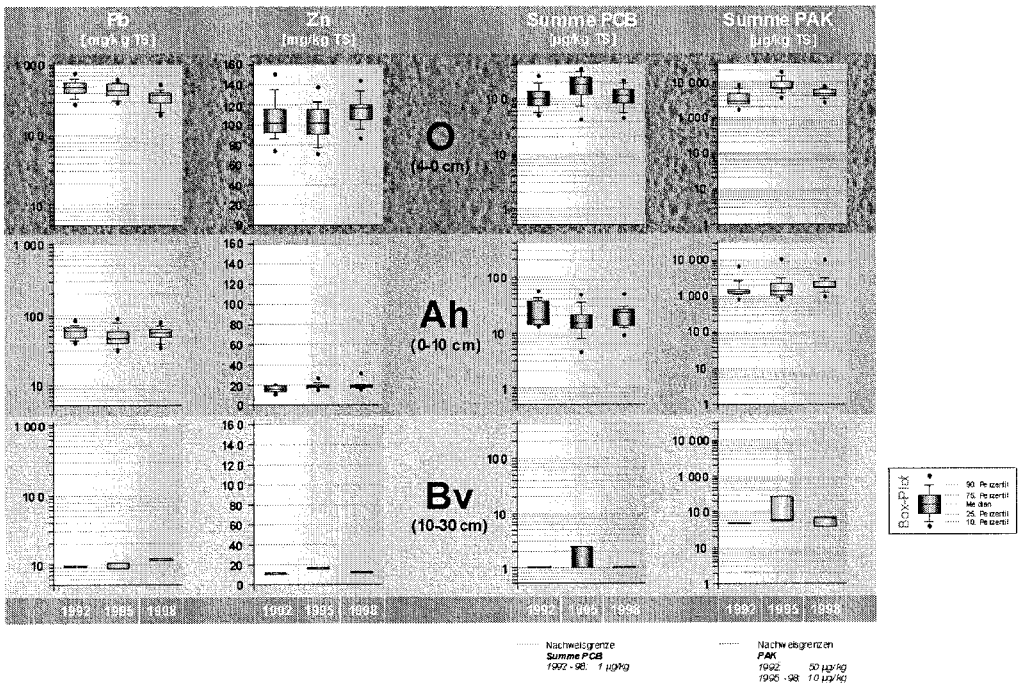


Abb. 3: Intensiv-BDF Forst; Verteilung von Blei, Zink, PAK und PCB in der Humus-Auflage (O), im mineralischen Oberboden (Ah) und im Unterboden (Bv) in den Untersuchungen von 1992, 1995 und 1998.

Transsekte mit Beprobungspunkten in unterschiedlicher Entfernung vom Fahrbahnrand zeigen einen charakteristischen Verlauf der Schadstoffgehalte im mineralischen Oberboden (Abb. 4, 5). In der Humusauflage (ab 14 m Entfernung vom Fahrbahnrand) liegen die entsprechenden Gehalte um ein Mehrfaches höher.

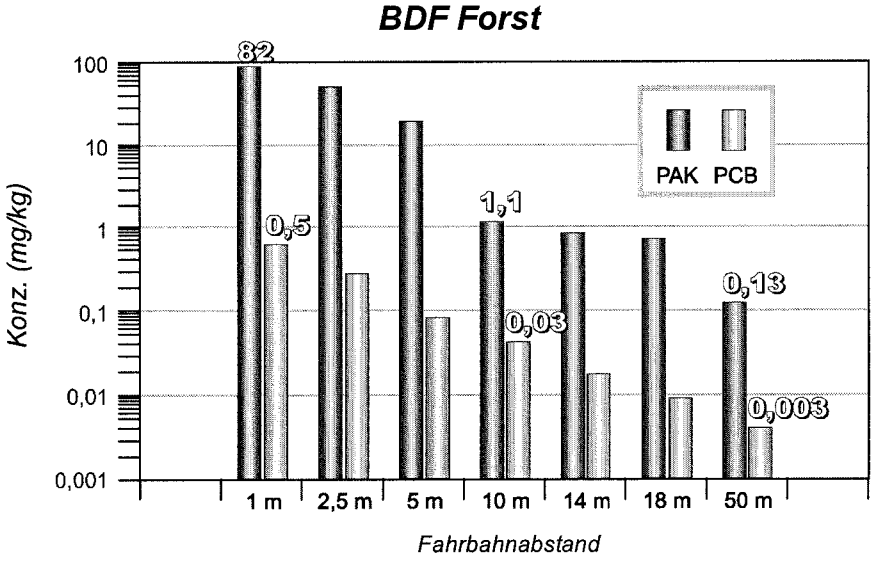


Abb. 4: PAK- und PCB-Gehalte im Mineraloberboden (0-10 cm) in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand

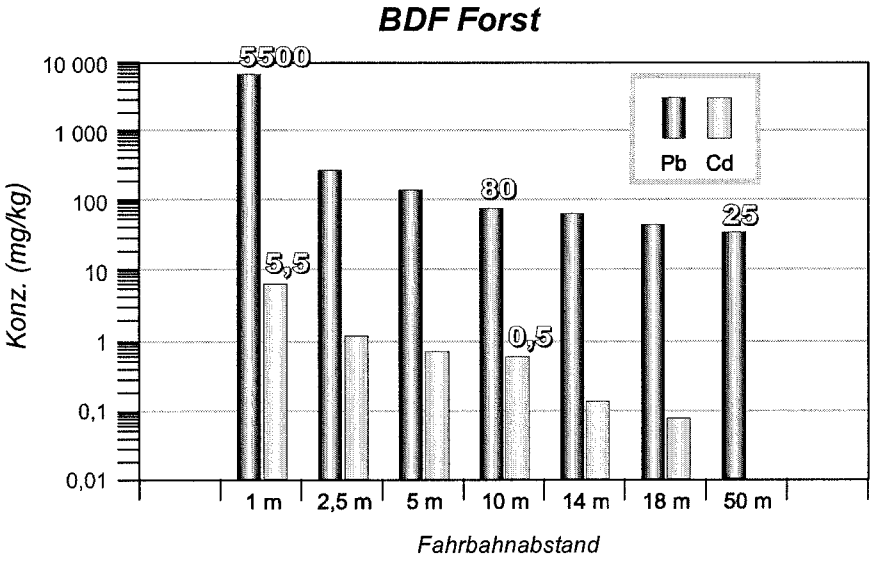


Abb. 5: Blei- und Cadmium-Gehalte im Mineraloberboden (0-10 cm) in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand.

4. Untersuchungen zur Kernflächengröße (400 m² vs. 1000m²)

Die Basis-BDF wurden 1986 auf eine Kernflächengröße von 400 m² eingemessen. Die Kernflächen sind in 6 identische Teilflächen unterteilt, von denen je eine Bodenmischprobe entnommen wird. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden-Dauerbeobachtung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) Arbeitskreis 2 (Bodeninformationssysteme) hat in ihrer bundeseinheitlichen Konzeption zur Einrichtung und zum Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen (1999) eine Kernfläche für BDF von mindestens 1.000 m² empfohlen, aus der in der Regel drei bis vier Bodenmischproben entnommen werden.

An ausgewählten Basis-BDF wurde untersucht, ob und inwieweit eine Vergrößerung der Kernfläche von 400 m² auf 1.000 m² zu verlässlicheren Daten für die an den BDF zu erhebenden Parameter führt. Dazu wurden Bodenproben sowohl von 400 m² als auch von 1.000 m² Beprobungsflächen, jeweils aus definierten Teilflächen sowie Beprobungstiefen entnommen und (auf "obligatorische Parameter" nach UAG BDF) analysiert. Die Analysendaten wurden horizontweise in Stoffvorräte umgerechnet und statistische Kenngrößen wie Medianwert, arithmetischer Mittelwert, und Standardabweichung ermittelt. Der Vergleich der Werte sollte Hinweise ergeben, ob eine Erweiterung der bisherigen BDF-Kernflächen auf künftig 1.000 m² geboten ist.

Anhand von über 97 % der untersuchten Parameter haben sich sowohl die 400 m² als auch die 1.000 m² Beprobungsflächen als in sich homogen erwiesen. An den untersuchten BDF waren die Ergebnisse der 400 m² mit denen der 1.000 m² Beprobungsflächen gut vergleichbar. Vereinzelte Ausreißer in Teilflächen waren bei einigen wenigen Parametern und beiden Kernflächengrößen festzustellen. Sie ließen sich auf analytische Varianzen zurückführen. Meist handelte sich um Ammoniumnitrat-extrahierbare Schwermetalle. Auch im Bereich sehr kleiner Gesamt-Konzentrationen waren analytisch bedingte Abweichungen der Messwerte für einzelne Teilflächen zu verzeichnen.

Insgesamt gute Übereinstimmung zwischen beiden Kernflächengrößen ergab sich anhand 92,5 % der untersuchten Parameter. Einzelne Ausnahmen gab es bei den Parametern Quecksilber (gesamt), Zink (Ammoniumnitrat-Extrakt) und PAK.

Die Stoffvorräte zeigten gute Übereinstimmung der Daten der 400 m^2 und der 1.000 m^2 Kernflächen anhand 96,3 % der untersuchten Parameter. Abb. 6 zeigt das Ergebnis am Beispiel der Kupfer-Gesamtgehalte. Bei Stoff-Konzentrationen nahe der analytischen Bestimmungsgrenze ließen sich keine gesicherten Aussagen zu den Vorräten treffen.

Die Auswertung der Daten von BDF mit 400 m^2 Kernflächengröße erbrachte gegenüber der erweiterten 1.000 m^2 Fläche geringfügig "stabilere" Werte aufgrund der größeren Teilflächenzahl. Insgesamt führen Untersuchungen an BDF auf Kernflächen von 400 m^2 mit sechs Teilflächen (= Mischproben) zu keinem erkennbaren Nachteil bezüglich des Aussagewerts der Ergebnisse gegenüber Kernflächen von 1.000 m^2 mit drei bis vier Mischproben.

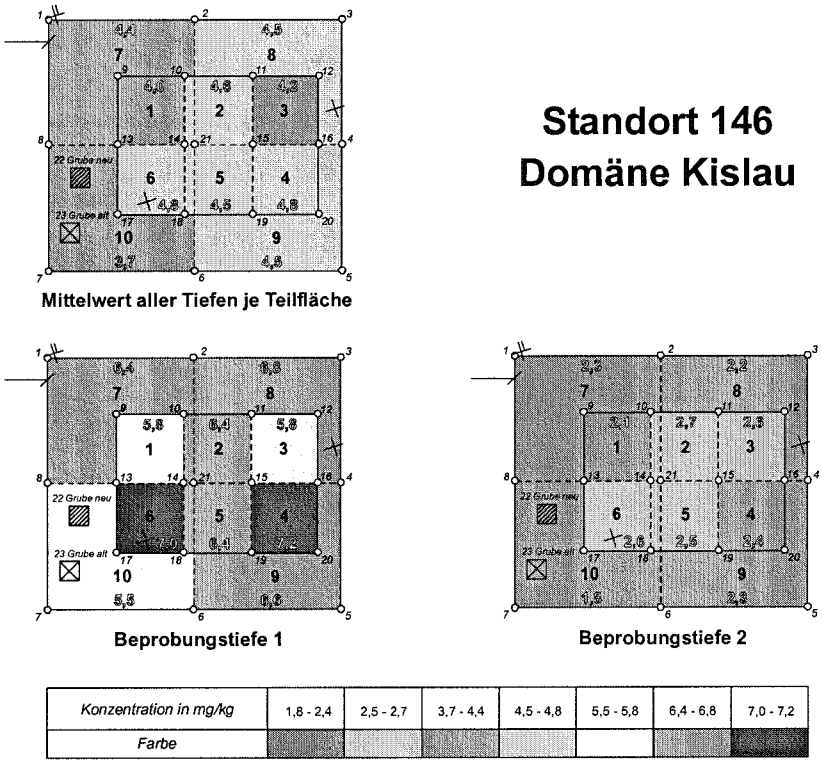


Abb. 6: Flächenhomogenität bei BDF-Kernflächen, 400 vs. 1.000 m^2; Beispiel: Kupfer-Gesamtgehalte in unterschiedlichen Beprobungstiefen.

5. Kosten für Einrichtung und Betrieb von Intensiv BDF

Der Betrieb der z. Zt. 5 Intensiv-BDF in B.-W. umfasst

- 14-tägige Wartung mit Funktionsprüfung aller Messeinrichtungen, Beprobung des Sickerwassers, des Depositionswassers sowie Datenabruf aus den Loggern, Anlieferung der Proben an das Analyselabor
- Reparaturen und Instandsetzung, Ersatzbeschaffung für defekte Messeinrichtungen, Installation von Software und Messeinrichtungen, Pflege der Außenanlagen der BDF
- Verarbeitung und Plausibilisierung der Messdaten innerhalb von 3 Tagen nach Wartung

Die Wartungs- und Betriebskosten der laufenden Intensiv-BDF belaufen sich zu

	€ 25.000,- / Standort und Jahr
davon entfallen auf	
Personalaufwand	€ 13.500,- / Standort und Jahr
Sachmittel für Ersatzbeschaffung, AfA 10 %	€ 9.000,- / Standort und Jahr
Sachmittel für den laufenden Betrieb	€ 2.500,- / Standort und Jahr.
Aufbereitung und Plausibilisierung von Messdaten	€ 10.000,- / Standort und Jahr
Analytik BDF I und II	€ 80.000,- / Jahr
Konzeption, Gesamtbetreuung BDF I und II	0,7 HD
	1,0 GD

Literatur:

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1999): Bodendauerbeobachtung in B.-W. – Untersuchung ausgewählter organischer Schadstoffe und mikrobiologische Untersuchungen. Bodenschutz 1; Karlsruhe.

LABO Ad hoc AG Bodendauerbeobachtung (2000): Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. – Handbuch Bodenschutz 32. Lfg. XI/00; Nr. 9152

Datenhaltung für die Boden-Dauerbeobachtung - die Projektdatenbank im Niedersächsischen Bodeninformationssystem NIBIS

Bernd Kleefisch
Bodentechnologisches Institut des Niedersächsischen Landesamts für Bodenforschung,
Friedrich-Mißler-Str. 46-50, 28211 Bremen,
E-mail: bernd.kleefisch@nlfb.de

Abtract:

The specifications of datastructures associated with long term soil monitoring programmes are discussed. These specifications are usually not covered by conventional soil information systems. The structure of the soil information system of Lower Saxony, Germany had to be extended to enable it to handle time series data, additional geoobjects and new types of field data.

Zusammenfassung:
Die spezifischen Anforderungen der Boden-Dauerbeobachtung an die Datenhaltung werden untersucht und den Speichermöglichkeiten existenter Boden-Fachinformationssysteme gegenübergestellt. Am Beispiel des niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS wird gezeigt, welche Erweiterungen des Fachinformationssystems Boden notwendig wurden, um neben dem Handling von Zeitreihen auch die zentrale Archivierung der zusätzlich anfallenden Geoobjekte und Datenarten zu ermöglichen.

Keywords:
Soil Information System, Soil Monitoring, Time Series Data

Schlagworte:
Bodeninformationssystem, Boden-Dauerbeobachtung, Bodenmonitoring, Zeitreihenarchivierung.

1. Einleitung

Viele Betreiber von Boden-Dauerbeobachtungsnetzen (BD-Netzen) mussten die Erfahrung sammeln, dass die Daten der Boden-Dauerbeobachtung in bestehenden Bodeninformationssystemen kaum ihren Platz finden. So existierten zwar in den bodenkundlichen Fachinformationssystemen gut ausgearbeitete Datenmodelle für die digitale Archivierung bodenkundlicher Kartierbefunde (aus Bohrungen, Profilgruben und Bodenanalytik) aber bereits beim Versuch, zeitlich wiederholt gezogene Flächenmischproben sachgerecht zu archivieren, treten mehr oder weniger große Probleme auf.

In dem vorliegenden Beitrag soll geklärt werden, welche strukturellen Ursachen den besonderen Bedürfnissen der Boden-Dauerbeobachtung an die Datenhaltung zugrunde liegen. Weiterhin soll am Beispiel der Datenhaltung für die landwirtschaftlich genutzten BD-Flächen (BDF) in Niedersachsen aufzeigen werden, wie dieses Problem gelöst wurde.

2.1 Analyse der Ausgangssituation

Parallel zum Aufbau des niedersächsischen BDF-Netzes (1991 bis 2000) wurde nach Wegen gesucht, die anfallenden Daten langfristig und nachhaltig zu archivieren. Gut 25 Jahre nach Einzug der Datenverarbeitung in die Bodenkunde wurden um 1995 praktisch von allen bodenkundlich arbeitenden Landesdienststellen Bodeninformationssysteme (BIS) bzw. Fachinformationssysteme Boden (FISBo)

betrieben. Die Vorteile dieser Systeme beim Handling großer Datenmengen und bei der zeitnahen Bereitstellung der Daten und Auswertungen an interne und externe Nutzer waren bereits weithin akzeptiert und sollten auch für die Befunde der Boden-Dauerbeobachtung genutzt werden.

Die Entwicklung bestehender FISBo erfolgte vorrangig unter der Zielsetzung, die raumbezogenen Daten der Bodenverbreitung, also die Beschreibungen von Bodenprofilen und Bodenkartiereinheiten zu erfassen, zu verwalten und auszuwerten. Bodenbezogene Fremddaten wie Klima- und Reliefdaten oder geologische Informationen wurden in Niedersachsen und anderen Bundesländern in die FISBo einbezogen, weil sie zur Klärung der Bodenverbreitung dienen und auch wesentliche Parameter zur Bewertung von Bodeneigenschaften im Zusammenhang mit Fragen des Bodenschutzes darstellen. Generell werden also Merkmalszustände beschrieben, die abgesehen von Klima- und Wetterdaten weitgehend statisch sind.

Demgegenüber konzentriert sich Boden-Dauerbeobachtung auf die Untersuchung von Bodenveränderungen. Die hieraus resultierenden Daten- und Methodenanforderungen erfordern eine Erweiterung der Strukturen der bestehenden FISBo. Dies ist begründet in dem Umstand, dass die Boden-Dauerbeobachtung neben der Beschreibung der statischen Zustandsgrößen

- mehr Parameter zur Standortcharakterisierung,
- zusätzliche Datenarten und Geoobjekte und
- das Handling von Zeitreihen

erfordert.

Zweifellos gibt es in bestehenden BIS Ansätze zur Lösung einzelner Problemfelder. Eine von der ad-hoc-AG „Boden-Dauerbeobachtung" der LABO in 1999 angestellt Recherche hat jedoch gezeigt, dass keines der existierenden Systeme in der Lage war, allen o. g. Anforderungen gerecht zu werden (BARTH ET AL. 2000).

2.1 Boden-Dauerbeobachtung braucht mehr Parameter zur Standortcharakterisierung

Die existierenden bodenkundlichen Erfassungsstandards der Länder, also etwa die 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA4), konzentrieren sich auf die Beschreibung von Bodenprofilen und Bodengesellschaften und folgen einer pedogenetischen Klassifikation der Befunde. So bietet die KA4 verschiedene Möglichkeiten, z. B. anthropogene Veränderungen des Bodenaufbaus zu erfassen. Auch ein im Gelände festgestellten Bodenauf- oder –abtrag kann dokumentiert werden. Hierdurch eröffnet sich jedoch nur die Möglichkeit, *zurückliegende* Prozesse zu beschreiben, die sich bereits im Bodenprofil abgezeichnet haben. Für die Boden-Dauerbeobachtung, die den Anspruch erhebt, an repräsentativen Standorten aktuelle Bodenveränderungen festzustellen, fehlen jedoch ausreichende Möglichkeiten, die Untersuchungsstandorte hinsichtlich ihrer derzeitigen, *aktuellen* stofflichen oder nichtstofflichen Belastung zu kennzeichnen. Die diesbezüglichen Beschreibungsmöglichkeiten der KA4 im Titeldatensatz der Bodenprofilbeschreibung müssen aus diesem Grund für die Boden-Dauerbeobachtung bezüglich folgender Faktoren ergänzt werden:

- Kennzeichnung der Belastungsvorgeschichte (anthropogene und geogene Vorbelastung zur Charakterisierung des Ist-Zustandes bei Einrichtung der BDF),
- Kennzeichnung der *aktuellen* lokalen Belastungssituation, im wesentlichen
  - Stoffeinträge durch Landnutzung,
  - Stoffeinträge durch lokale Emittenten über den Luftpfad,

- Stoffeinträge durch Überflutung in Auen- und Außendeichsbereiche sowie,
- nichtstoffliche Belastungen.

Eine diesbezügliche Flächencharakteristik ist für alle BDF dringend erforderlich. Sie ermöglicht bei der Beurteilung festgestellter Bodenveränderungen die Unterscheidung zwischen ausschließlich lokal wirksamen Entwicklungen und einer ggf. festzustellenden ubiquitären Veränderung der Böden. Die Kenntnis von Belastungsvorgeschichte und aktueller Belastungssituation ist auch bei der Regionalisierung der Befunde unverzichtbar. So gelten z. B. sedimentationsbedingte Schadstoffeinträge, die etwa auf den BDF im Elbeaußendeichsbereich zu besorgen sind, sicherlich nicht für die nur wenige hundert Meter entfernten Binnendeichsflächen. Demgegenüber können jedoch Bodenveränderungen durch atmosphärischen Säureeintrag in Waldstandorte sehr wohl auf weiter entfernte Standorte mit vergleichbarem Depositionsniveau übertragen werden.

2.2 Boden-Dauerbeobachtung produziert mehr Datenarten

Für die Beschreibung von Bodenprofilen liegt mit dem MINDESTDATENSATZ BODENUNTERSUCHUNG (1991) eine gut ausgearbeitete Grundlage vor. Die Formulierung eines vergleichbaren „Mindestdatensatz Boden-Dauerbeobachtung" steht bislang noch aus, der Umfang der hierbei zu berücksichtigenden Daten lässt sich jedoch aus dem „Leitfaden zum Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen" (BARTH ET AL. 2000) skizzieren. Neben den „klassischen" Kartierdaten fallen auf den Standard- und Intensiv-BDF weiterhin mindestens folgende Datenarten an:

- Bodenbiologische Daten (mikrobiologische Analysen, bodenzoologische Kartierbefunde)
- Bewirtschaftungsdaten (landwirtschaftlicher Stoffein- und Stoffaustrag, Bodenbearbeitungsmaßnahmen),
- Depositions-, Bodenwasser- und Grundwasserdaten (Messwerte und Analysen),
- Feldmesswerte (Witterungs- und bodenhydrologische Parameter) sowie
- Vegetationsaufnahmen.

In Bodeninformationssystemen, die vorrangig für die Aufnahme von Daten der Bodenverbreitung entworfen wurden, existieren in der Regel keine Strukturen zur Aufnahme dieser Datenarten, hier gilt es, einen großen Datenüberhang zu organisieren.

2.3 Boden-Dauerbeobachtung betrachtet andere Geoobjekte

Eng verbunden mit dem Anfall zusätzlicher Datenarten ist auch die Betrachtung anderer, zusätzlicher Geoobjekte im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung. So konzentriert sich die Bodenkartierung im Wesentlichen auf die Geoobjekte Bohrpunkt, Schürfgrube und Kartiereinheit. Die Beschreibung der im Rahmen der Flächeneinrichtung einer BDF durchgeführten Schürfgrubenbeprobung ist damit ohne weiteres möglich. Die entnommenen Proben können den einzelnen Horizonten des Geoobjektes Schürfgrube / Bodenprofil zugeordnet werden. Eine Zuordnung der Flächenmischproben aus der BDF-Kernflächenbeprobung zu dem Schürfgrubenprofil am Rande der BDF ist jedoch unpräzise, da mit der Beschreibung des Schürfgrubenprofils die räumliche Variabilität des Bodenaufbaus kaum darstellbar ist. Um die Ergebnisse der Bodenanalytik sauber nach ihrer Herkunft zu dokumentieren, wird daher neben dem Geoobjekt Schürfgrube z. B. auch der die Einführung des Geoobjekttyps „Probennahmefläche" erforderlich.

Grundsätzlich stellt jede Übertragung eines Befundes auf ein anderes Geoobjekt bereits eine Interpretation der Ergebnisse dar. Dies wird auch deutlich am Beispiel der Sickerwasserbeprobung auf Intensiv-BDF. Erfahrungsgemäß variieren die Stoffkonzentrationen des Bodenwassers selbst bei zeitgleicher Beprobung und gleicher Einbautiefe der Saugkerzen zwischen unterschiedlichen Probennahmepunkten erheblich. Die festgestellten Konzentrationen gelten zunächst ausschließlich für die jeweiligen Probennahmepunkte (Saugkerzenpositionen). Eine verallgemeinerte Aussage über die Bodenwasserqualität am BDF-Standort, mithin die Übertragung der verschiedenen Punktbefunde auf das Geoobjekt „BDF-Fläche", kann auf verschiedene Weise erfolgen, z. B. durch die Verwendung der Minimum-, der Maximumkonzentrationen oder des Mittelwertes. Die Übertragung stellt damit eine Interpretation der Einzelbefunde dar, und zur eindeutigen Dokumentation der Befunde ist daher auch die Einführung und Differenzierung zwischen den unterschiedlichen o. g. Geoobjekten erforderlich.

Für die Dokumentation der Ergebnisse im Rahmen der BD auf Standard- und Intensivmessflächen sind aus den o. g. Gründen noch eine Reihe weiterer Geoobjekttypen einzuführen:

- Probennahmeflächen für Boden (Bodenvolumina) und für den Aufwuchs,
- Probennahmepunkte wie Niederschlagssammler, Saugsonden und Grundwasserbrunnen,
- Messflächen zur Ermittlung des Ernteertrages, für die Dokumentation der Bewirtschaftung (BDF-Schlag), zur Messung der radioaktiven Flächenabstrahlung und vegetationskundliche Kartierareale sowie
- Messpunkte für meteorologische und bodenhydrologische Sensoren.

2.4 Boden-Dauerbeobachtung erfordert das Handling von Zeitreihen

Alle Daten der Boden-Dauerbeobachtung bilden Zeitreihen, dies impliziert bereits der Begriff der Dauerbeobachtung. Beispiel sind

- die Durchführung der bodenchemischen Wiederholungsinventuren (> 5 Jahre),
- Vegetationsuntersuchungen (alle 3 Jahre),
- die Durchführung von mikrobiologischen Untersuchungen (jedes Jahr),
- die Erfassung aller Bewirtschaftungsmaßnahmen (mehrmals jährlich),
- die Bodenwasserbeprobung (je nach Fragestellung, z. B. alle 14 Tage) sowie
- die Erfassung von Witterungs- und bodenhydrologischen Messdaten (<= 1 Stunde).

Eine Ausnahme bildet lediglich die bei der Flächeneinrichtung durchgeführte, einmalige Erfassung der Standortparameter und der Nutzungsvorgeschichte sowie die Durchführung der Schürfgrubenbeprobung. Alle übrigen Daten sind, wenn auch mit z. T. langen Messzyklen, zeitdynamische Daten, für deren Archivierung in kartierbezogenen Bodeninformationssystemen neue Strukturen zu schaffen sind.

3. Datenhaltung im Niedersächsischen Bodeninformationssystem NIBIS

Die Entwicklung von erweiterten Strukturen zur Aufnahme der Befunde von 70 niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen – davon 10 Intensiv-BDF – brauchte nicht am Nullpunkt zu beginnen. Vielmehr konnten und sollten die vorhandenen Strukturen des Fachinformationssystems Boden des NIBIS (NIBIS-FISBo) genutzt werden. Vor allem sollte der Grundgedanke des NIBIS, zentral geführte Datenbestände mit einheitlichen Datenzugriffs- und Auswertungsverfahren allen internen und

externen Nutzern verfügbar zu machen (z. B. HEINEKE & BARTSCH 1994), nicht durchbrochen werden.

Gleichwohl waren Erweiterungen des Systems unerlässlich. Diese bezogen sich im einfachsten Fall auf die vertikale Fortführung von Wertelisten, etwa die Ergänzung der zentralen Labormethodentabelle um die neuen, im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung erstmals eingesetzten Analyseverfahren der Bodenbiologie. Um die Betriebssicherheit bereits ausprogrammierter Anwendungen anderer Nutzer nicht zu gefährden, wurde auf Ergänzungen vorhandener Datenbank-Tabellen durch Einführung neuer Tabellenspalten weitestgehend verzichtet. Nötigenfalls wurden zusätzliche (Hilfs-) Tabellen oder eigenständige Datenbanken – etwa zur Aufnahme von zeitlich hochauflösenden Feldmessdaten der Intensiv-BDF (s. u.) – entwickelt und mit den bestehenden Datenbanken des NIBIS-FISBo-Datenkerns verknüpft.

Der gewünschte gemeinsame Zugriff auf die in verschiedenen Datenbanken vorgehaltenen Befunde einer jeden BDF machte die Einführung des Projektbegriffs in die Datenstrukturen des NIBIS-FISBo erforderlich:

3.1 Projekte, Projektstandorte und Kennzeichnung der lokalen Belastungssituation

Anders als bei der Bodenkartierung, in der vergleichsweise wenige Geländeverfahren wie Bohrstockkartierung und Bodenprobennahme in vielfacher räumlicher Wiederholung durchgeführt werden, werden auf BDF vielfältige Verfahren zur Datengewinnung an vergleichsweise wenigen Standorten eingesetzt. Diese Befunde müssen zunächst gemeinsam standort- bzw. projektbezogen ausgewertet werden und können dann ggf. anschließend regionalisiert werden.

Um diese Arbeitsweise der Boden-Dauerbeobachtung zu unterstützen, wurden im NIBIS-FISBo neue Strukturen für die Verwaltung von Projekten, Projektstandorten und projektbezogenen Untersuchungsprogrammen entwickelt, wobei hier unter einem Projekt die Untersuchung einer bestimmten Projektfragestellung (oder eines Themas) an einem bestimmten Standort verstanden werden soll. Der Betrieb jeder BDF wird in diesem Sinne zu einem eigenen Projekt, auch wenn an den verschiedenen Standorten ein und derselben Fragestellung nachgegangen wird: der Frage nach der Veränderung von Bodeneigenschaften. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wird an den verschiedenen BDF-Typen (Standard- oder Intensiv-BDF) ein prozess- und u. U. auch standortspezifisches, mithin also projektspezifisches Untersuchungsprogramm erforderlich. Jedes einzelne der angewendeten Geländeuntersuchungsverfahren wie Kartierung, Probennahme, Feldmessung oder die Dokumentation der Bewirtschaftungsmaßnahmen produziert dabei spezifische, strukturell stark unterschiedliche Daten (vgl. Abb. 1)

In dv-technischer Hinsicht wurden die bis dahin bestehenden Basisdatenbanken des NIBIS-FISBo, die Profil-, Flächen- und Labordatenbank, um eine sogenannte **Projekt-Datenbank** ergänzt (KLEEFISCH 2002). Sie bildet neben anderen Datenbanken den erweiterten Datenbankkern des NIBIS-FISBo und wurde in Abbildung 1 lediglich zur Visualisierung des Arbeitsflusses an den linken Abbildungsrand herausgezogen. In dieser Projekt-Datenbank werden neben den Projektmetadaten wie Laufzeit, Zuständigkeiten etc. und den jeweiligen Untersuchungsprogrammen alle Datenverweise auf die in den verschiedenen Basisdatenbanken des FISBo gespeicherten Einzelbefunde projektbezogen vorgehalten. In der (Projekt-) Standorttabelle werden alle Angaben geführt, die über die Titeldaten der Bodenprofilaufnahme nach KA4 hinausgehen (vgl. Kap. 2.1), also auch die Angaben zur aktuellen Belastungssituation.

Einen Vorschlag zur Charakterisierung der lokalen Belastungssituation an BDF enthält Tabelle 1. Sie umfasst eine dem BODENSCHUTZPROGRAMM DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1997) entnommene Zusammenstellung potentieller Belastungspfade, geordnet nach den verursachenden Wirtschaftsbranchen. Hinsichtlich der Klassifikation der nach heutigem Kenntnisstand jeweils resultierenden Bodenbelastung bietet sich eine Dreistufung bei der Ausprägung in „auszuschließen = 0", „nicht auszuschließen = 1" und „nachgewiesen = 2" an. Bei der beispielhaft in der Tabelle 1 dargestellten niedersächsischen BDF034 handelt es sich um eine stadtnahe, intensiv genutzte Grünlandfläche des Marschenlandes mit Grabenentwässerung (Grüppen) im Umland einer Metallhütte, die einen nachgewiesenen Schwermetalleintag in die Böden verursachte. Die Belastungssituation dieser BDF wird durch die folgende Beschreibung der Belastungsquellen wiedergegeben:

- Nachgewiesen — Einfluß der landwirtschaftlichen Düngung, Emission (Luft) durch Industrie und Gewerbe.
- Nicht auszuschließen: — Einfluß durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Melioration, Be- und Entwässerung, Viehhaltung, Emissionsbelastung durch Siedlung und Verkehr
- Auszuschließen: — Einfluß aller übrigen Belastungsquellen.

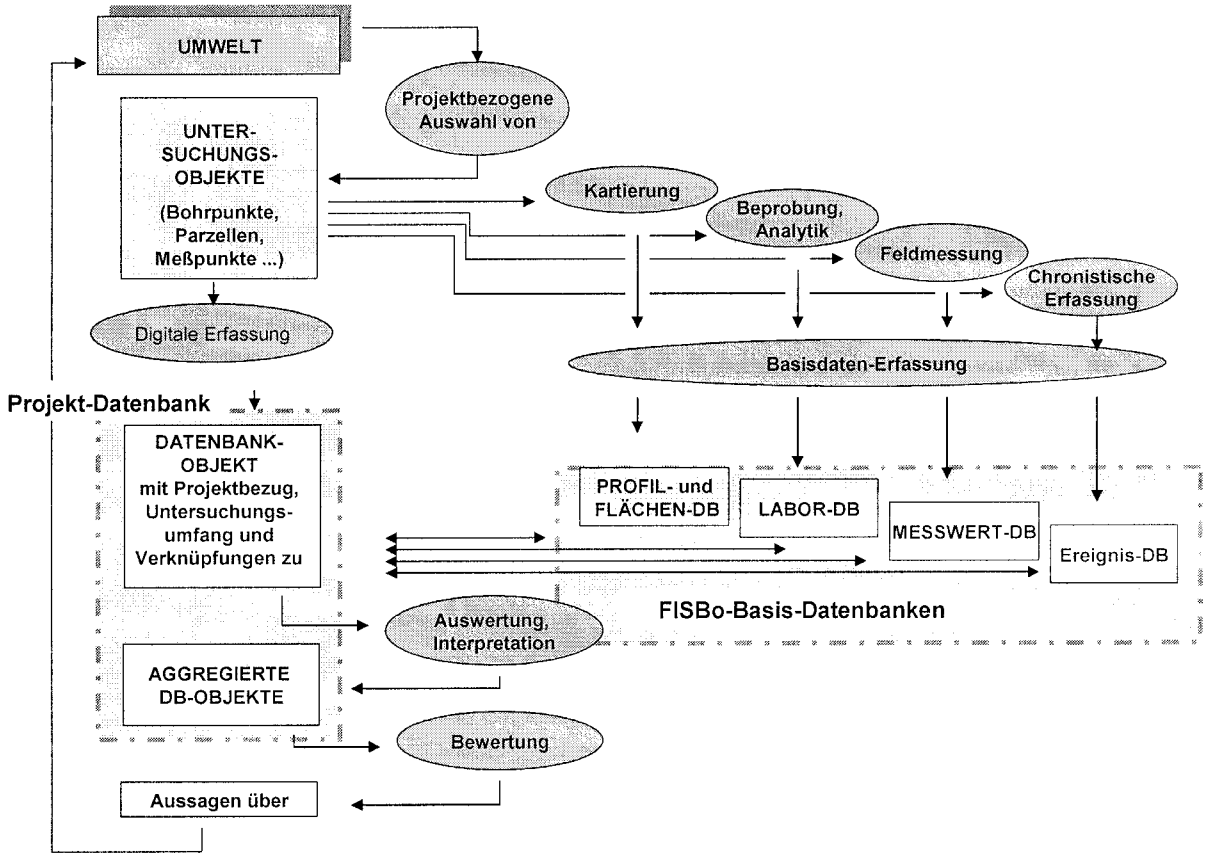


Abb. 1: Einbindung der NIBIS-Projekt-Datenbank in das NIBIS-FISBo (Erläuterungen im Text)

Die vorgenommene Kennzeichnung der lokalen Belastungssituation ermöglicht u. a. eine thematische Auswahl geeigneter BDF etwa für die Zwecke einer länderübergreifenden Darstellung der Bodenbelastung an nicht lokal belasteten Standorten und liefert eine Einschätzung der räumlichen Repräsentanz einzelner BDF-Standorte.

Wirtschaftsbranche	Belastungsquelle	BDF034-L
Landwirtschaft	Düngung	2
	Pflanzenschutzmittel	1
	Bodenbearbeitung	0
	Melioration	1
	Be- und Entwässerung	1
	Wegebau	0
	Viehhaltung	1
	Emissionen anderer Art	0
	Kulturart / Fruchtfolge	0
Forstwirtschaft	Pflanzenschutzmittel	0
	Bodenbearbeitung	0
	Düngung	0
	Wegebau	0
	Nutzung	0
	Kulturart	0
Rohstoff- und Energiewirtschaft	Rohstoffgewinnung	0
	Abraum	0
	Produktionsrückstände	0
	Energiespeicher	0
	Leitungen	0
	Emissionen (Luft)	0
Industrie und Gewerbe	Flächenversiegelung	0
	Emissionen (Luft)	2
	Abfall	0
	Abwasser	0
Siedlungen	Flächenversiegelung	0
	Emissionen (Luft)	1
	Abfall	0
	Abwasser	0
Verkehr	Straßenfläche	0
	Emissionen (Luft)	1
	Auftausalze	0
	Reifenabrieb	0
	Straßenabrieb	0
	Benzin-Ölverluste	0
	Abfall	0
Erholung / Fremdenverkehr	Flächenversiegelung	0
	Abfall	0
	Abwasser	0
	Emissionen (Luft)	0
	Vertritt	0
Abfallwirtschaft / Entsorgung	Abfall	0
	Emissionen (Luft)	0

Tabelle 1: Kennzeichnung der lokalen Belastungssituation von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (Erläuterungen im Text)

Die Projekt-Datenbank des NIBIS-FISBo wurde ursprünglich zur Verwaltung der Boden-Dauerbeobachtungsbefunde entwickelt. Mittlerweile werden am Bodentechnologischen Institut Bremen die Strukturen der Projekt-Datenbank auch zur Verwaltung von Daten des Feld- und Gefäßversuchswesens erfolgreich eingesetzt. Auch hier trägt die o. g. Projektdefinition, da sich z. B. ein Feldversuch durch die Untersuchung einer bestimmten Versuchfrage an einem bestimmten Versuchsstandort kennzeichnen lässt.

3.2 Abbildung neuer Datenarten der Boden-Dauerbeobachtung

Für die Erfassung aller bei der BDF-Einrichtung einmalig anfallenden Kartierbefunde konnten die bestehenden Strukturen der FISBo-Profildatenbank genutzt werden (Rasterkartierung und Grabloch-beschrieb). Unproblematisch gestaltete sich auch – wie bereit weiter oben erwähnt – die Fortführung der Labormethodentabelle zu Dokumentation der erstmalig im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung eingesetzten Analyseverfahren.

Völlig neue Strukturen mußten hingegen für die Aufnahme der an Intensiv-BDF in großen Mengen anfallenden Feldmessdaten sowie für die Archivierung von Bewirtschaftungs- und Vegetationsdaten geschaffen werden.

Messwertdatenbank

Im Rahmen des niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramms werden an insgesamt 10 Intensiv-BDF bodenhydrologisch-meteorologische Messstationen betrieben (NLFB 2002). Mit dem Ziel der Modellierung des Bodenwasserhaushalts zeichnen diese Stationen kontinuierlich relevante Boden- und Witterungsparameter auf. Weitere 6 vom NLfB betriebene Messstationen wurden, zum Teil mit abweichendem Messprogramm, an das BDF-Netz angekoppelt. Die genannten Messstationen sind mit automatischen Sensoren und Dataloggern ausgestattet und liefern Messreihen mit einstündiger zeitlicher Auflösung.

Eine Integration dieser Massendaten in die Strukturen der NIBIS-Labor-Datenbank war nicht zweckmäßig, da z. B. eine Zuordnung der Befunde zu einzelnen Proben, dem zentralen Ordnungskriterium der Labor-Datenbank, nicht möglich ist. Die Entwicklung einer eigenen Messwert-Datenbank war daher unverzichtbar. Diese Datenbank verfügt über verschiedene Tabellen, die neben der Ablage der Basisdaten (1-Stunden-Werte) auch die Verwaltung und Dokumentation der eingesetzten Sensoren, Datalogger, Eichkurven sowie deren Einsatzdauer und Gerätewechsel ermöglicht. Ein weiteres Modul erledigt die zeitliche Aggregierung der 1-Stunden-Werte zu Tages-, Wochen-, Monats- und Jahreswerten.

Ereignis-Datenbank

Die Entwicklung dieser Datenbank wurde erforderlich um alle Maßnahmen und Ereignisse, die Einfluss auf die Böden und damit auch Einfluss auf die sonstigen Untersuchungen wie Probennahme und Feldmessung haben können, zeitbezogen zu dokumentieren. In der jetzigen Ausbaustufe werden in ihr die auf allen landwirtschaftlich genutzten BDF von den Landwirten mitgeteilten Bewirtschaftungsmaßnahmen zentral vorgehalten. Dabei wird entsprechend den Vorgaben in BARTH et al. (2000) jede Maßnahmenklasse wie Beerntung, Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutz durch einen individuellen Parametersatz gekennzeichnet.

Vegetations-Datenbank

Für die Dokumentation und Archivierung der regelmäßig auf allen BDF durchgeführten Aufnahmen der Flora und Vegetation liegt derzeit ein Datenbank-Prototyp vor. Er ermöglicht neben der Speicherung von Gesamtartenlisten auch die Erfassung der Deckungsgrade sowie die Ableitung der Ellenbergschen Zeigerwerte. Die Frage, ob eine solche Datenbank konzeptionell in den Datenbankkern des Bodeninformationssystems NIBIS eingestellt werden soll, wird derzeit noch kontrovers diskutiert.

3.3 Berücksichtigung zusätzlicher Geoobjekt-Typen

Eine langfristige, nachhaltige Archivierung von Geländebefunden ist besonders für das Langzeitprojekt der Boden-Dauerbeobachtung unverzichtbar. Sie gelingt nur, wenn neben der Dokumentation aller eingesetzten Verfahren auch eine zweifelsfreie Zuordnung aller Befunde zu den jeweils untersuchten Geoobjekten bzw. Messorten sichergestellt wird. Dabei ist das Spektrum der im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung untersuchten Geoobjekte, wie in Kapitel 2.3 dargestellt, erheblich umfangreicher als das Geoobjektsprektrum der Bodenkartierung.

Das Problem der einheitlichen Abbildung unterschiedlicher Geoobjekttypen (wie Bohrpunkte, Messflächen, Mess- und Probennahmepunkte etc.) wird in der von uns entwickelten Projekt-Datenbank mittels der Datenbank-Tabelle „ORTE“ gelöst (vgl. Tab. 2). In ihr werden alle im Rahmen des BD-Programms in Niedersachsen untersuchten Geoobjekte bzw. Messorte geführt und durch entsprechen-

de Datenbank-Verknüpfungen dem jeweiligen Projektstandort zugeordnet. Neben Angaben zur jeweiligen Ortsklasse, zur Raumdimension, zum Einrichtungs- und ggf. Aufhebungszeitpunkt und einem eindeutigen Identifikatorfeld (ORT_ID) werden räumliche Hierarchien durch ein Selfjoin der Tabelle über das Feld „LIEGT_IN" abgebildet. Mittels einer weiteren rekursiven Tabellenverknüpfung über das Feld „BEH_AREA" können Messorte zusätzlich einer umgebenden Versuchsparzelle (gleich Behandlungsareal) zugeordnet werden. Eine Erweiterung, die zur Abbildung der am NLfB betriebenen Feldversuche vorgenommen wurde. (In der Tabelle nicht dargestellt).

ORT_ID	Ortsklasse	Ortskurzbezeichnung	liegt in
99	BDF-Umland	BDFUM	Nds
10	Hektar-Fläche BDF-L	BDF	BDFUM
1	Profilgrube BDF	GRUBE	BDF
2	Kernfläche BDF-L	K1	BDF
3	Kernfläche BDF-L	K2	BDF
4	Kernfläche BDF-L	K3	BDF
5	Kernfläche BDF-L	K4	BDF
6	Saugsonden-Position	S1	BDF
7	Saugsonden-Position	S2	BDF
8	Saugsonden-Position	S3	BDF
9	Saugsonden-Position	S4	BDF
11	Depositionsmessstelle Anorganika-	DEPANO-GÜN	BDFUM
12	Depositionsmessstelle Organika-GÜN	DEPORG-GÜN	BDFUM
13	Grundwassermessstelle-GÜN	GW-GÜN I	BDFUM
14	Grundwasser-Pegelrohr-Position	GWP1	BDF
15	Grundwasser-Pegelrohr-Position	GWP2	BDF
16	Grundwasser-Pegelrohr-Position	GWP3	BDF
17	Grundwasser-Pegelrohr-Position	GWP0	BDF
19	Grabenwasser-Entnahme-Position	GRW1	BDFUM
20	Grabenwasser-Entnahme-Position	GRW2	BDFUM
21	Grabenwasser-Entnahme-Position	GRW3	BDFUM
35	Messfeld Klima	MFKLI	BDFUM
4194	Messfeld Bodenfeuchte (Troxla-Rohre)	MFWETR	BDF
4219	Troxla-Peilrohr-Position	We1	MFWETR
4220	Troxla-Peilrohr-Position	We2	MFWETR
4221	Troxla-Peilrohr-Position	We3	MFWETR

Tab. 2: Horizontaler und vertikaler Ausschnitt aus der ORTE-Tabelle der Projekt-Datenbank für die Intensiv-BDF Dinklage (STANDORT_ID=12, Erläuterungen im Text).

3.4 Untersuchungsprogramme und Zeitreihenbildung

In Anlehnung an HOPPE und SCHULZE (1997) folgt das Design der Projekt-Datenbank der Sichtweise, dass sich ein projektspezifisches Untersuchungsprogramm als eine Liste der an verschiedenen Messorten eingesetzten (Gelände-) Untersuchungsverfahren darstellen lässt. Durch die „Installation" eines bestimmten Untersuchungsverfahrens an einem bestimmten Messort wird das Startdatum des Dateneingangs dokumentiert. Durch die wiederholte Anwendung des am Ort installierten Verfahrens ergeben sich Zeitreihen von Einzelbefunden, die dann sowohl nach ihrem Gewinnungsverfahren als auch nach dem Ort ihrer Herkunft eindeutig gekennzeichnet sind. Eine „Verfahrensinstallation" wird damit gleichsam zu einem „Zeitreihengenerator", der bildlich gesprochen auf dem jeweiligen Messort „montiert" wird.

Für die Inbetriebnahme einer Saugkerze bedeutet dies zum Beispiel, dass parallel zum Einbau der Kerze im Gelände auch der entsprechende Messort (z. B. Saugsondenposition S5) in der ORTE-Tabelle der Datenbank eingeführt und mit dem jeweiligen Projektstandort (z. B. BDF Dinklage) verknüpft wird. Anschließend wird durch einen Eintrag in der Tabelle „VERFAHRENSINSTALLATION" eine Verknüpfung zwischen dem Messort und einem der in der FELDVERFAHRENS-Tabelle geführten Feldverfahren, z. B. „Probennahme Bodenwasser, P80-Kerze, in 80 cm Tiefe" hergestellt. Hierdurch wird der Beginn einer eindeutig durch das Identifikatorfeld „VINST_ID" der VERFAHRENS-INSTALLATIONS-Tabelle gekennzeichnete Zeitreihe dokumentiert, in diesem Fall eine aus einer zeitlichen Abfolge von Bodenwasserproben bestehende Zeitreihe.

Die eigentlichen Analysenergebnisse können damit in den Strukturen der Labor-Datenbank untergebracht werden, die Verknüpfung zu der Projekt-Datenbank erfolgt über das o. g. Feld „VINST_ID", das zusätzlich zur Probennummer in der Labor-Datenbank mitgeführt wird. Der Eingriff in die bestehenden Strukturen der FISBo-Labordatenbank konnte somit auf ein Minimum reduziert werden.

Messort	Geländeverfahren		Zeitreihenwerte:						
Verfahrens-Installation									
B033DINK K1	Probenahme Boden Nmin. 0-30cm	Datum:	18.02.98	17.03.99	11.11.99	30.03.00	26.10.00	21.02.01
Verfahrens-Installation VINST_ID 24		Nitrat-N [mg/100g]:	0,21	0,37	0,91	0,28	0,64	0,12
Klima-Messfeld B033DINK	Niederschlagsmenge, automatisch	Aggregierungs .zeitraum:	Dez 00	Jan 01	Feb 01	Mrz 01	Apr 01	Mai 01
Verfahrens-Installation VINST_ID 110		Summe [mm]:	20,6	39,8	46,6	32,4	48	30,5
			(Aggregierungsverfahren 129, Monatswerte)					
B033DINK S1	Probenahme Boden-wasser in 80cm	Datum:	5.12. 00	19.12.00	15.1.01	30.1.01	13.2.01	28.2.01
Verfahrens-Installation VINST_ID 4266		Nitrat-N[mg/L]:	40,6	40,9	52,21	46	51,1	44,2
B033DINK	Landbewirtschaftung	Datum:	31.05.00	10.10.00	15.10.00	02.04.01	18.04.01	30.04.01
Verfahrens-Installation VINST_ID 90		Ereignis:	PSM 0,5l/ha Buctril	Ernte Mais 500dt/ha	Grubbern, 10cm tief	Grubbern, 10cm tief	31 m³/ha Mischgülle	Aussaat Mais
B033DINK	Probenahme Dünger	Datum:	13.03.95	03.04.97	20.04.98	12.04.99	02.05.01	26.06.01
Verfahrens-Installation VINST_ID 28		Ges.-N [% TS]:	7,65	4,78	5,08	8,7	4,06	19,5
		TS [%]:	8,1	15,7	12,6	7,7	9,6	2

Abb. 2: Beispiele für die Zeitreihenorganisation von Daten aus unterschiedlichen FISBo-Basisdatenbanken unter Nutzung des Verfahresinstallationsansatzes (Beispiel 1 und 3: Labor-Datenbank, Beispiel 2: Messwert-Datenbank; Beispiel 4 und 5 Ereignis-Datenbank)

Das Prinzip der Verfahrensinstallation wird in der Projekt-Datenbank durchgängig auch für die Zeihreihenbildung aus den Daten der übrigen Basisdatenbanken wie Messwert-, Ereignis- und Vegetationsdatenbank angewendet (vgl. Abb. 2) und ermöglicht neben der

- Organisation und Verwaltung von Zeitreihen aus unterschiedlichen Datenarten
- die freie Verknüpfung aller geführten Feldverfahren mit allen untersuchten Objekten sowie die

- Verwaltung der projektspezifischen Untersuchungsprogramme, die sich jetzt aus der Menge und der zeitlichen Fixierung der am Standort installierten Verfahren ergeben.

Das Prinzip der Verfahrensinstallation bildet damit das Kernstück der zur Führung der BD-Daten entwickelten Projekt-Datenbank des NIBIS-FISBo.

4. Fazit

Durch die beschriebene Erweiterung des NIBIS-FISBo wurden am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung Datenbankstrukturen entwickelt, die nunmehr die zentrale Archivierung aller zur Zeit an Standard- und Intensiv-BDF anfallenden Daten ermöglicht. Die Flexibilität des Systems lässt darüber hinaus auch die Archivierung und Auswertung von Daten des Gefäß- und Feldversuchswesens zu.

5. Literatur

BARTH, N. & BRANDTNER, W. & CORDSEN, E. & DANN, T. & EMMERICH, K.-H. & FELDHAUS, D. & KLEEFISCH, B. & SCHILLING, B. & UTERMANN, J. (2000): Boden-Dauerbeobachtung - Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen - in : Rosenkranz, D. & Bachmann, G. & König, W. und G. Einsele (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz, Bd. 3, 32.Lfg. XI/00.

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG (1994): 4. und erweiterte Auflage. - Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe u. Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, 392 S.; Hannover.

BODENSCHUTZPROGRAMM - Ziele und Strategien des Bodenschutzes in Schleswig-Holstein (1997) – Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein – Kiel.

HEINEKE, H. J. & H. U. BARTSCH (1994): Das Fachinformationssystem Bodenkunde im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) – In: Neues Arch. Nieders. **2/94,** S. 63 – 77; Hannover.

HOPPE, J. & SCHULZE, A. (1997): ECO - Datenbank zur Stoffbilanzierung in Waldökosystemen. Teil 1: Datenbankstruktur und virtuelle Tabellen. - In: Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe B, **54**.

KLEEFISCH, B. (2002) NIBIS_PROJKETE Datenbank – Kurzdokumentation – 18 S.; [Nieders. Landesamt für Bodenforschung, unveröffentlicht]

MINDESTDATENSATZ BODENUNTERSUCHUNG (1991) – Hrsg.: Arbeitskreis Mindestdatensatz Bodenuntersuchung der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO). Bodenschutzzentrum Nordrhein-Westfalen, Oberhausen.

NLFB (2002): Internetveröffentlichung zum Niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm - – URL: http//www.nlfb.de - Boden - Projekte – Das niedersächsische Boden-Dauerbeobachtungsprogramm – Untersuchungsprogramm auf Intensiv-BDF; [in Vorbereitung]

Qualitätssicherung im forstlichen Umweltmonitoring durch Methodendokumentation und deren datentechnische Integration am Beispiel der chemischen Analytik

König, N., A. Schulze
Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen
Nils.Koenig@nfv.gwdg.de, aschu@nfv.gwdg.de

Abstract: *Long-term monitoring programmes make high demands on the quality assurance. The reliableness of evaluations is conditioned by the availability of method information on individual worksteps. Predefinitions of methods help on the comparability of data. The management and availability of method information imply the technical integration along with measurement readings in central data base systems.*

Zusammenfassung: *Langfristige Monitoringprogramme stellen besonders hohe Anforderungen an die Qualitätssicherung. Die Zuverlässigkeit von Auswertungen wird mitbestimmt von der Verfügbarkeit von Methodeninformationen zu den einzelnen Arbeitsschritten. Methodenfestlegungen fördern dabei die Vergleichbarkeit von Daten. Die Verwaltung und Verfügbarkeit der Methodeninformationen setzt die technische Integration zusammen mit den Messwerten in zentralen Datenbanksystemen voraus.*

Keywords: documentation of methods, predefinition of methods, comparability, integration of data
Schlagworte: Methodendokumentation, Methodenfestlegung, Vergleichbarkeit, Datenintegration

1 Methodeninformation als zentrales Instrument der Qualitätssicherung

Interne und externe Auswertungen von komplexen, lange Zeiträume betreffende Datenbeständen - wie sie im Fall der Erhebungen im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings oft vorliegen - werfen meist recht schnell Fragen nach der Bedeutung und der Vergleichbarkeit von Daten oder Informationen auf, insbesondere wenn sie durch Dritte erfasst wurden. Unterschiedliche Auswertungsziele hinterfragen dabei unterschiedliche Datenbereiche: So sind z.B. im Rahmen der Betrachtung stark aggregierter Daten die Herleitungsmechanismen dieser Informationen aus den Rohdaten von Interesse (z.B. ob Datenlücken vorlagen und wie sie ggf. gefüllt wurden). Auf der Ebene der Betrachtung von Ausgangsdaten stehen z.B. die jeweiligen Gerätemessbereiche im Mittelpunkt. Bei der Bewertung von analytisch gewonnenen Elementgehalten kann die jeweilige Untersuchungsmethode (Aufschlussverfahren) mitentscheidend sein.
Um ausschliessen zu können, dass unbemerkt 'Äpfel mit Birnen' verglichen werden, ist daher eine generelle Nachvollziehbarkeit der Datenentstehung und ggf. -weiterverarbeitung erforderlich (SCHULZE et al., 1999). Da Auswertungen im Rahmen von Monitoringvorhaben häufig mit großem zeitlichen Abstand zur Erhebung erfolgen, u.U. lange Zeitreihen betrachtet werden (was das Auftreten von Methodenwechseln sehr wahrscheinlich macht), und Interpretationen auch durch Dritte auf von unterschiedlichen Institutionen erhobenen Daten durchgeführt werden, erscheint eine entsprechende Qualitätssicherung besonders relevant.
Diese setzt zunächst die Methodendokumentation mittels einer Beschreibung aller angewendeten Methoden voraus. Der Begriff 'Methode' umfasst dabei Felderhebungs-, Laboranalyse- sowie Daten-

auswertungsmethoden und berührt damit alle Arbeitsbereiche eines typischen Monitoringprojektes. Zu favorisieren ist in jedem Fall eine Methodenharmonisierung i.S. der Festlegung einer einzigen, exakt definierten Methode für ein konkretes Anwendungsszenario.
Weiterhin sind für zulässige Alternativmethoden Untersuchungen zur Vergleichbarkeit durchzuführen (z.B. in Form von Ringanalysen oder Gerätevergleichen) bzw. aus solchen Methodenvergleichen zunächst überhaupt zulässige (d.h. vergleichbare) Alternativen abzuleiten.
Nicht zuletzt erscheint es mit Blick auf übergreifende Auswertungen durch Dritte ratsam, unterschiedliche Methodengruppen abzugrenzen und für diese standardisierte Dokumentationsvorschriften im Sinne von Methoden-Codes zu entwickeln. Dies betrifft sowohl die methodenbeschreibenden Parameter selbst als auch die für eine konkrete Methode zulässigen Inhalte der einzelnen Parameter.

2 Bedeutung von Methodendokumentation

In Abb. 1 ist die Entwicklung der Gehalte einiger Elemente in der Humusauflage einer Fichtenfläche im Solling dargestellt. Während für Ca und P der Gehalt im Untersuchungszeitraum annähernd gleich zu bleiben scheint, nimmt er für Mg und K nach 1990 scheinbar deutlich zu. Der Grund für diese vermeintliche Gehaltsänderung ist jedoch ein Wechsel der Aufschlussmethode: Vor 1990 wurde eine trockene Veraschung (MEIWES et al., 1984) und danach ein HNO_3-Druckaufschluss (KÖNIG u. FORTMANN, 1996) durchgeführt. Diese beiden Methoden liefern für die meisten Elemente keine vergleichbaren Ergebnisse. Wenn die Methodeninformation den Laborergebnissen nicht unmittelbar in einer Datenbank zugeordnet ist, kann es zu erheblichen Fehlinterpretationen kommen.

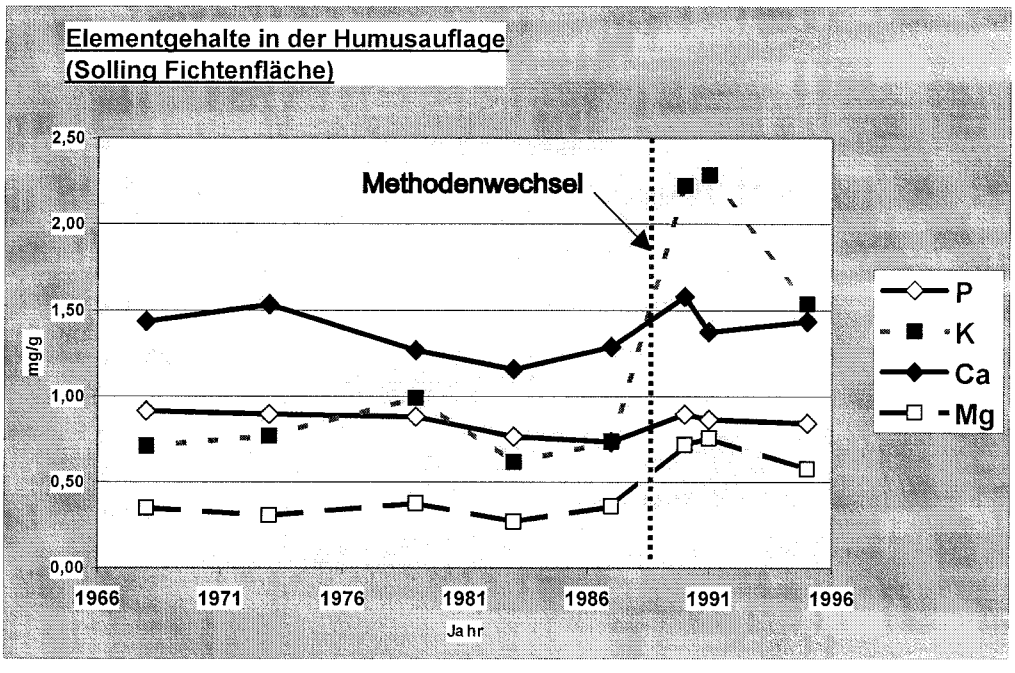


Abb. 1: Elementgehalte der Humusauflage (Versuchsfläche Solling Fichte, F1) in mg/kg für die Elemente P, K, Ca und Mg; 1968-1987: trockene Veraschung, 1989-1995: HNO_3-Druckaufschluss

3 Bedeutung der Methodenfestlegung für die Vergleichbarkeit von Analyseergebnissen

In Abb. 2 sind die Ergebnisse einer Ringanalyse im Rahmen der BZE (BARTELS u. KÖNIG, 1994) dargestellt, bei der die beteiligten Labors an 10 Humusproben sowohl einen vorher gemeinsam definierten Königswasser-Aufschluss (KÖNIG u. FORTMANN, 1996) als auch einen in ihrem Labor üblichen und bei der BZE zugelassenen Aufschluss durchgeführt haben. Die Aufschlusslösungen der Labors wurden in einem Zentrallabor gemessen, um die Variation durch unterschiedliche Messmethoden auszuschließen. Die Spannen der Variationskoeffizienten der 10 Proben sind für den definierten Königswasser-Aufschluss mit ca. 5-15 % deutlich geringer als beim hausüblichen Aufschluss mit Variationskoeffizienten bis 55 %. Für Elemente wie K oder Al sind damit faktisch die Ergebnisse der verschiedenen Labors untereinander nicht vergleichbar.
Welche weitreichenden Konsequenzen fehlende Methodenfestlegungen haben können, zeigte sich bei der ersten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Durch begleitende Ringanalysen wurde festgestellt, dass die verwendeten Aufschlussmethoden für Humus keine vergleichbaren Ergebnisse lieferten. Daher konnten die Nährelementgehalte im Humus nicht länderübergreifend ausgewertet werden (KÖNIG u. WOLFF, 1993).
Beim Langzeitmonitoring müssen Methoden verbindlich festgelegt und auf ihre Vergleichbarkeit geprüft werden. Über Ringanalysen muss die Qualität der Labors kontinuierlich abgesichert werden.

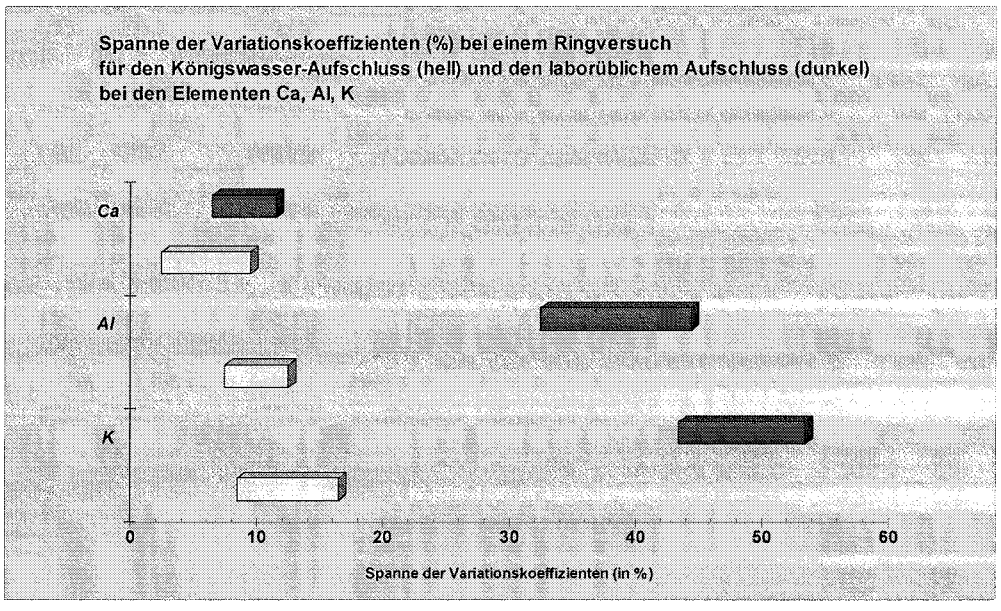


Abb. 2: Spanne der Variationskoeffizienten (%) der Elementgehalte Ca, Al und K bei der Ringanalyse der AG Forstliche Analytik mit 10 Humusproben und 16 teilnehmenden Labors; helle Balken: Königswasser-Aufschluss, dunkle Balken: laborüblicher Aufschluss (unterschiedliche Verfahren)

4 Bedeutung von Methodenvergleichen

Sollen Daten ausgewertet werden, bei deren Erhebung unterschiedliche Methoden verwendet wurden oder ist ein Methodenwechsel aus technischen oder inhaltlichen Gründen unvermeidlich, müssen Methodenvergleiche durchgeführt werden. Für Methodenvergleiche ist es wichtig, ein umfangreiches und repräsentatives Probenkollektiv mit den zu vergleichenden Methoden zu untersuchen und eine

Regressionsanalyse durchzuführen. Es muss insbesondere geprüft werden, ob der bestimmte Korrelationskoefffizient für den gesamten Wertebereich gilt.
In Abb. 3 ist beispielhaft ein Vergleich der Aufschlussmethoden Gesamtaufschluss (KÖNIG u. FORTMANN, 1999), Königswasseraufschluss und HNO_3-Druckaufschluss (KÖNIG u. FORTMANN, 1996) für das Element Blei in Bodenproben dargestellt. Das untersuchte Probenkollektiv umfasste 48 Bodenproben mit sehr unterschiedlicher Mineralzusammensetzung. Während die Korrelationskoeffizienten für das Gesamtkollektiv mit $R^2 = 0{,}978$ beim Vergleich Gesamtaufschluss/HNO_3-Druckaufschluss und $R^2 = 0{,}988$ beim Vergleich Gesamtaufschluss/Königswasseraufschluss die Methoden vergleichbar erscheinen lassen, sind bei einer Auswertung der Proben mit Pb-Gehalten bis 50 mg/kg die entsprechenden Korrelationskoeffizienten mit $R^2 = 0{,}622$ und $R^2 = 0{,}835$ als schlecht zu bewerten. Damit sind die beiden Methoden als insgesamt nicht vergleichbar mit dem Gesamtaufschluss und vor allem als nicht in einander umrechenbar einzustufen.

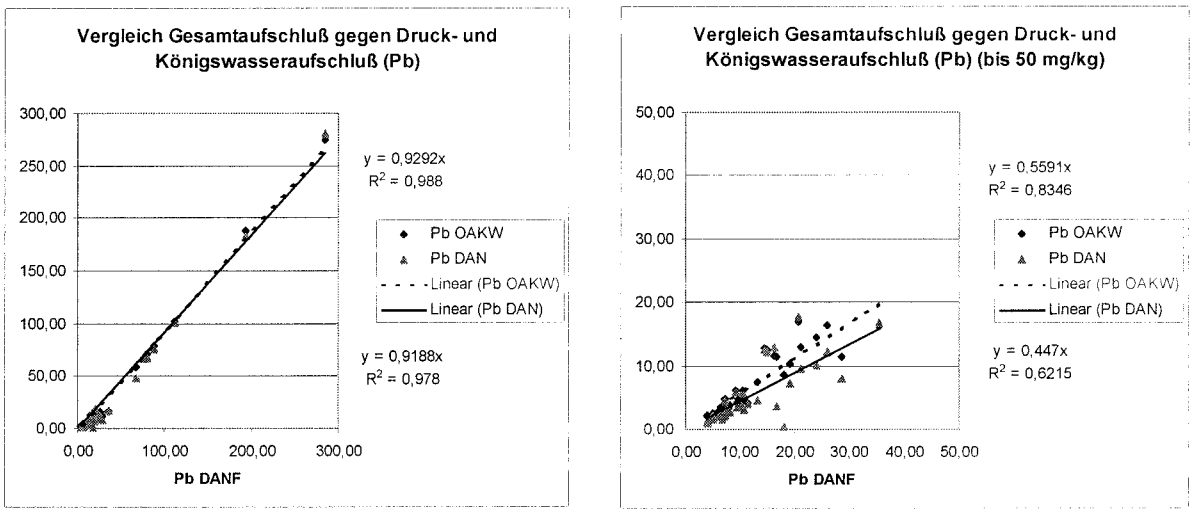
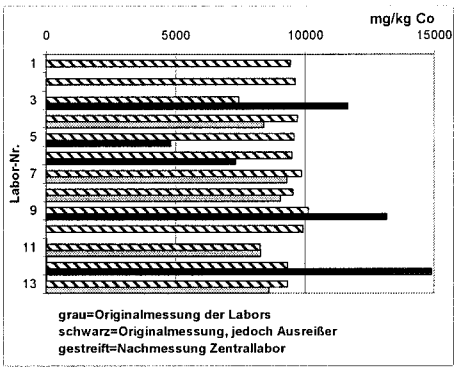


Abb. 3: Vergleich der Pb-Gesamtgehalte von 48 Mineralbodenproben mit den aus dem Königswasser- und HNO_3-Druckaufschluss bestimmten Gehalten (in mg/kg); links: Regressionsanalyse für alle 48 Proben; rechts: Regressionsanalyse für das Teilkollektiv mit Gesamtgehalten unter 50 mg/kg

5 Vorteile von Methoden-Codes

Ideal wäre die Einführung von Methoden-Codes, die mit den Messwerten verknüpft eine schnelle Prüfung der Vergleichbarkeit bzw. gemeinsamen Auswertbarkeit von Daten zuließe. In dem Methoden-Code müssten die wichtigsten Charkteristika der jeweiligen Probenvorbereitungs-, Aufschluss- oder Elementbestimmungsmethode in einen allgemein gültigen und definierten Zahlencode umgesetzt sein. Wenn dann zusätzlich Informationen über Methoden-Vergleichbarkeiten vorliegen, können Datensätze sehr schnell darauf geprüft werden, ob sie in gemeinsamen Auswertungen verwendet werden dürfen.
Das in Abb. 4 aufgeführte Beispiel soll belegen, wie Methodeninformationen die Prüfung von Analysedaten erleichtern bzw. erst möglich machen. Dargestellt sind die Ergebnisse der Co-Bestimmung in einer Bodenprobe von 13 Labors im Rahmen eines Ringversuchs der AG Forstliche Analytik (BARTELS u. KÖNIG, 1999). Für alle Labors galt die Vorgabe, ein definiertes Gesamtaufschlussverfahren (KÖNIG u. FORTMANN, 1999) anzuwenden. Die Ergebnisse streuen stark (Variationskoeffizient 31 %), was jedoch nicht auf das Aufschlussverfahren – wie zu vermuten

gewesen wäre – zurückzuführen war, sondern auf die Messung des Co-Gehalts in der Aufschlusslösung. Dies konnte durch die Nachmessung aller in den einzelnen Labors gewonnenen Aufschlusslösungen in einem Zentrallabor belegt werden, das in allen Lösungen ähnliche Co-Gehalte fand (Variationskoeffizient 8 %). Mit Hilfe von Informationen über die verwendete Messmethodik (Messverfahren, Details der jeweiligen Messverfahren wie Wellenlänge, Interelementkorrekturen, Verwendung interner Standards usw.) konnten die Ursachen für Mehr- und Minderbefunde einzelner Labors geklärt werden: in 3 Fällen wurde bei der Co-Bestimmung mittels ICP eine notwendige Korrektur der Ti-Störung nicht berücksichtigt und in 2 Fällen ein ungeeignetes AAS-Graphitrohr-Verfahren ohne Zeeman-Untergrundkorrektur verwendet. Dieses Beispiel zeigt zum einen, dass die Festlegung einer Aufschlussmethode allein nicht ausreicht, sondern im Anschluss auch das richtige Messverfahren durchgeführt werden muss. Zum anderen wird deutlich, dass Methoden-Informationen für die Bewertung der Messergebnisse sehr hilfreich sind und gut in einem mehrstelligen Methoden-Code zusammenfassbar wären.



Messergebnisse				Methoden-Info			
Labor-Nr.	Nachm. Z-Lab.	Original-M.	%-Abw. vom MW	Gerät	Wellenlänge Masse	Interelement-Korr.	Interner Std.
1	9422	keine Mess.					
2	9620	keine Mess.					
3	7448	11649	156,4	ICP		keine Ti-Korr.	
4	9698	8400	86,6	ICP	230,7	Ni-Korrektur	
5	9584	4800	50,1	AAS-G	240		
6	9491	7323	77,2	AAS-G	242		
7	9860	9294	94,3	ICP	228	Fe+Ti-Korrektur	Int. Std. Y
8	9538	9050	94,9	ICP-MS	59		
9	10128	13180	130,1	ICP	228	keine Ti-Korr.	Int. Std. Sc
10	9928	keine Mess.					
11	8267	8280	100,2	ICP/ICP-MS	228/59		
12	9315	14910	160,1	ICP	228	keine Ti-Korr.	
13	9313	8602	92,4	ICP-MS	59		
Median	9538	8826					
Mittelw.	9355	9549					
Stdabw.	725	2944					
VK (%)	8	31					

Methoden-Infos, die in einem Methoden-Code verschlüsselt werden können

Abb. 4: Bestimmung der Co-Gesamtgehalte in einer Bodenprobe im Rahmen einer Ringanalyse der AG Forstliche Analytik; Graphik links: Co-Messungen in den Aufschlusslösungen der beteiligten Labors (graue und schwarze Balken, schwarz: Ausreißer) und Nachmessungen eines Zentrallabors in den gleichen Lösungen (gestreifte Balken); Tabelle Mitte: Darstellung der Messergebnisse und der Abweichungen der Laborergebnisse von denen des Zentrallabors (%); Tabelle rechts: Detailinformationen über die von den Labors verwendeten Messmethoden; in beiden Tabellen sind die Daten und relevanten Methodeninformationen der Labors mit Ausreißern grau unterlegt.

6 Zusammenfassung der notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen im Laborbereich

Neben den gemachten Aussagen zur Methodendokumentation, -festlegung und Methodenvergleichen sowie Methoden-Codes muss noch auf die Notwendigkeit von Ringanalysen (ULRICH u. MOSELLO, 1999) zur kontinuierlichen Kontrolle der Laborqualität und der Vergleichbarkeit der dort angewandten Methoden sowie von laborinternen Qualitätssicherungsmaßnahmen (KÖNIG u. FORTMANN, 1996) wie Kontrollstandards, Wertebereichsprüfungen oder Ionenbilanzen hingewiesen werden.
Die insgesamt notwendigen Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Laborbereich lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Alle verwendeten Labormethoden müssen gut dokumentiert sein und als Arbeitsvorschriften im Labor vorliegen.
- Dies gilt nicht nur für die Aufschluss- oder Extraktionsmethoden, sondern genauso für die Probenvorbereitungs- und die Elementbestimmungsmethoden.

- Die Labors sollen ausschließlich die in den jeweiligen Monitoring-Programmen vorgeschriebenen Untersuchungsmethoden verwenden.
- Neue Methoden müssen vor ihrer Einführung durch Methodenvergleiche auf ihre Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit geprüft werden.
- Alle Informationen über die verwendeten Methoden sollten mit den Analyseergebnissen verknüpft in einer Datenbank (LIMS) gespeichert werden und somit permanent abrufbar sein.
- Ideal wären Methoden-Codes für alle Methoden, damit auch die Daten unterschiedlicher Labors vergleichbar sind.
- Zusatz-Informationen wie z.B. Nachweisgrenzen sollen dabei miterfasst werden.
- Jedes Labor muss kontinuierlich an Ringanalysen teilnehmen und so die Qualität seiner Arbeitsweise kontrollieren. Bei unzureichenden Ergebnissen müssen im Labor die notwendigen Konsquenzen gezogen werden.
- Zusätzlich müssen alle üblichen laborinternen Qualitätskontrollen wie die Verwendung von Kontrollstandards, die Berechnung von Ionenbilanzen, Wertebereichs-Prüfungen, Elementbilanzen u.ä. durchgeführt werden.

7 Datentechnische Integration von Methodeninformationen in zentralen Datenbanken

Die Bedeutung von Methodendokumentation, -festlegung und -vergleichen wurde hier exemplarisch für den Bereich der chemischen Analytik dargestellt. Auch wenn Methodeninformation grundsätzlich vorliegt, bleibt sie solange relativ wertlos, wie sie medial getrennt von den Messdaten vorliegt, z.B. in Form von Papierdokumenten. Auch wenn sie in digitaler Form verwaltet wird, erscheint ein Rückgriff erfahrungsgemäß solange eher unwahrscheinlich, wie sie den Benutzer dazu zwingt, in ein anderes DV-System zu wechseln und dort getrennt zu recherchieren. Zudem lassen sich in solch einem Fall Inkonsistenzen im Laufe der Zeit auch mit hohem Aufwand nicht vermeiden (Problem der Nachführung und Zuordnung).
Zu fordern ist daher die direkte, datentechnische Verknüpfung von Messdaten und Methodeninformation, z.B. in Form von Verknüpfungsstrukturen in Datenbanken, die durch Integritätsregeln überwacht werden und damit Verletzungen von Zuordnungen nicht zulassen. Dabei muss auch die Abbildbarkeit der Historie von Methodenanwendungen, aus der Methodenwechsel bei Zeitreihenbetrachtungen automatisiert ableitbar werden, gewährleistet sein. Entsprechende Datenmodelle existieren (HOPPE u. SCHULZE, 1997; SCHENTZ et al., 2001).
Dies betrifft insgesamt nicht nur den hier detaillierter vorgestellten Bereich der chemischen Analytik im Rahmen eines Monitoringprogrammes, sondern sinngemäß identisch auch die Bereiche Felderhebung und Datenauswertung mit ihren typischen Arbeitsschritten, auf die hier nicht näher eingegangen wird (vgl. Tab. 1; siehe auch ANDREAE et al., 1999, sowie ULRICH u. MOSELLO, 1999). Charakteristisch für jeden einzelnen Arbeitsschritt ist, dass für seine Durchführung einerseits eine gewisse Informationslage vorliegen muss und andererseits neue Informationen entstehen. In Bezug auf die Methodendokumentation bedeutet das z.B., dass eine Methode als solche bereits im System beschrieben sein muss, um sie anwenden zu können, d.h. Erhebungen, Analysen oder Auswertungen durchführen zu können. Die Durchführung ihrerseits liefert neben den Ergebnissen zusätzliche Angaben über die konkrete Methodenanwendung, d.h. die Parametrisierung der Methode. Das sich ergebende komplexe Beziehungsgefüge aller Datenbereiche und der Datenflüsse (vgl. Abb. 5) wird nur durch ein Datenmanagementkonzept handhabbar, das alle Teilinformationen von vornherein integriert und in Beziehung setzt. Dies betrifft neben den Rohdaten zu allen erhobenen

Umweltmessgrößen grundsätzlich auch deren zeitlich-räumliche Zuordnung, die angewandte Erhebungs- oder Analysemethodik sowie die Ableitung von Auswertungsdaten mit durchgeführten Prüf- und Verrechnungsschritten.

Tab. 1: Unter Qualitätssicherungsaspekten in Monitoringprogrammen zu dokumentierende Sachverhalte

Arbeitsbereich	**Arbeitsschritt**	**neben den Messdaten mit ihrem Raum-Zeit-Bezug unter dem Aspekt der Qualitätssicherung zu dokumentierende Sachverhalte**
Projektverwaltung	Bereitstellung eines Methodenkatalogs	Beschreibung von Geräten und Methoden, insbesondere z.B. Messbereiche und -einheiten
	Definition des Versuchsdesigns und Stationsbeschreibung	räumliche Strukturen (Flächen, Parzellen, Messpunkte) mit charakterisierender Beschreibung und Zuordnung der erhobenen Parameter, einschließlich der Verwaltung der Historie
Felderhebung (Messungen / Probenahmen)	Feldinstallation	spezifischer Aufbau bzw. Einsatz von Messapparaturen an Messpunkten (z.B. Höhe eines Sensors, Beheizung eines Sammlers), einschließlich der Verwaltung der Historie
	Wartung	Kontrolle der Einhaltung des Soll-Zustandes, ggf. dessen Wiederherstellung (z.B. Spülen von Sammlern, Kalibrieren von Sensoren), einschließlich der Verwaltung der Historie
	Messung / Probenahme	einflussnehmende äußere Bedingungen, wie Veränderungen z.B. durch Überlauf, Einfrieren oder Kontamination
chemische Analyse	Probenvorbereitung	Probenentstehung (Generierung von räumlich-zeitlichen Mischproben) durchgeführte Behandlungen (Transport, Lagern, Trocknen, Sieben, ...)
	Untersuchungsverfahren	verwendetes Verfahren, spezifische Größen und Einstellungen
	Elementbestimmung	verwendetes Verfahren, Vergleichbarkeitsabsicherung
interne Datenprüfung	Plausibilitätskontrollen	Plausibilitäts- und Prüfalgorithmen und deren Parameterisierung (z.B. Ionenbilanz, range checks)
Auswertung	Interne Sichtung	Bewertungsalgorithmen, Parameterisierung
	Externe Auswertung	Verrechnungsalgorithmen, Parameterisierung

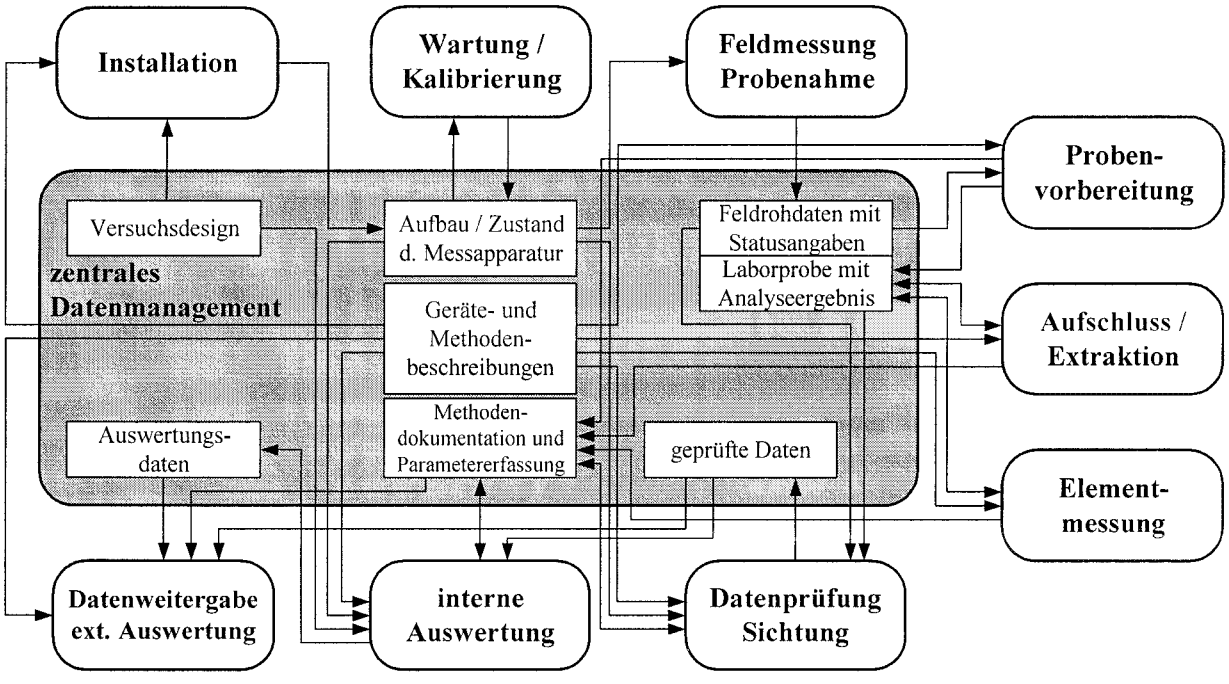


Abb. 5: Im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings abzugrenzende Arbeitsschritte und deren Bezüge zu einer gemeinsamen Informationsbasis (zentrales Datenmanagement)

Ein Datenmanagement dieser Konzeption hat sich sowohl für den Feld- als auch den Laborbereich als umsetzbar erwiesen (SCHULZE u. HOPPE, 1997; SCHULZE u. MEIWES, 2000). Gleichwohl ist es erst für Teilbereiche der heterogenen Datenbasis realisiert. Entsprechende Entwicklungen müssen als Voraussetzung einer langfristigen, zuverlässigen Auswertbarkeit von Daten des Umweltmonitorings vorangetrieben werden.

8 Schlussfolgerung

Beim Langzeitmonitoring müssen die Entstehung und die Bedeutung von Daten und daraus abgeleiteten Informationen über lange Zeiträume und durch Dritte nachvollziehbar sein, damit Fehlinterpretationen vermieden oder unzulässige Datenzusammenstellungen ausgeschlossen werden. Dafür ist eine lückenlose Dokumentation der Datenentstehung und -weiterverarbeitung nötig. Eine entsprechende Qualitätssicherung setzt die Beschreibung aller in den einzelenen Arbeitsbereichen (Felderhebung, Laboranalytik, Auswertung) angewandten Methoden voraus. Für die Methodenbeschreibungen sind dabei abgestimmte Standards nötig, um sie übergreifend interpretieren zu können. Verbindliche Methodenfestlegungen und regelmäßig wiederholte Untersuchungen zur Vergleichbarkeit unterschiedlicher Methoden erhöhen zusätzlich die Qualität der Aussagen. Die Parameter der jeweiligen Methodenanwendung müssen prinzipiell als Meta-Information edv-technisch mit den betreffenden Messdaten verbunden werden, um sie bei der Auswertung unmittelbar verfügbar zu haben.

9 Literatur

ANDREAE, H., T. BAYER, M. KOLB, A. SCHULZE (1999): Quality Assurance in the Meteorological Subprogram within the framework of the German Network on intensive monitoring of forest ecosystems (European Level II - Program). Proc. Int. Conference on Quality, Management, and Availability of Data in Hydrol. and Water Res. Management', Koblenz, 103-106.

BARTELS, U., N. KÖNIG (1994): Protokoll der Sitzung der AG Bodenanalyse im Rahmen der BZE vom 12.04.1994, unveröffentlicht.

BARTELS, U., N. KÖNIG (1999): Protokoll der Sitzung der AG Forstliche Analytik vom 18.10.1999, unveröffentlicht.

HOPPE, J., A. SCHULZE (1997): ECO - Datenbank zur Stoffbilanzierung in Waldökosystemen. Teil 1: Datenbankstruktur und Virtuelle Tabellen. Berichte aus dem Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen, Reihe B 54, 124 S.

KÖNIG, N., B. WOLFF (1993): Abschlussbericht über die Ergebnisse und Konsequenzen der im Rahmen der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) durchgeführten Ringanalysen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, Reihe B 33.

KÖNIG, N., H. FORTMANN (1996): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltlabors der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme, Teil 4: Probenvorbereitungs- und Untersuchungsmethoden, Qualitätskontrolle und Datenverarbeitung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, Reihe B 49, Abschnitt DAN1.1 und OAKW1.1.

KÖNIG, N., H. FORTMANN (1999): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltlabors der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme; Teil 4: Probenvorbereitungs- und Untersuchungsmethoden, Qualitätskontrolle und Datenverarbeitung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, Reihe B 49, Abschnitt DANF1.1.

MEIWES, K. J., N. KÖNIG, P. K. KHANNA, J. PRENZEL, B. ULRICH (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, 7, 1-67.

SCHENTZ, H., M. MIRTL, M. HOFER-BURKER (2001): Vorstellung des Softwarepaketes MORIS (MOnitoring and Research Information System). Workshop 2001 des Arbeitskreises 'Umweltdatenbanken' der GI-Fachgruppe 4.6.1. 'Informatik im Umweltschutz' der Ges. f. Informatik, Jena, 7./8.06.01; Langfassung: 'http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/?AKUmweltdatenbanken', 30 S.

SCHULZE, A., J. EVERS, J. HOPPE, S. RUMPF, K. J. MEIWES (1999): Zur Anwendung des Nachhaltigkeitsprinzips im forstlichen Datenmanagement. Forstarchiv 70, 28-36.

SCHULZE, A., J. HOPPE (1997): Qualitätssicherung bei der Bilanzierung von Stoff- und Wasserflüssen in Waldökosystemen durch datenbankgestützte Arbeitsorganisation. In: Geiger, W. et al. (Hrsg.). Umweltinformatik '97. 11. Int. Symp. Umweltinformatik Strasbourg 1997. Umwelt-Informatik aktuell 15, 216-224.

SCHULZE, A., K. J. MEIWES (2000): Erfahrungsbericht zum Einsatz eines Datenbanksystems im Level II-Programm. Bericht an die EU (Projekt-Nr. 98.60.DL.016.0), 'http://www.nfv.gwdg.de/d/eco/ecolit.html', 58 S.

ULRICH, E., R. MOSELLO (1999): Quality Assurance and Quality Control for Atmospheric Deposition Monitoring within ICP-Forests. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effect of air pollution on forests. 4ed., update 06/1999, Part VI, Annex 4, 13-39. UN/ECE, ICP-Forests, PCC Hamburg.

Länderübergreifende Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Gerd Huschek und Matthis Kayser
Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH, NL Potsdam
Konsumhof 1-5, 14482 Potsdam
huschek@iuq.de

Abstract: *In part one the conception of the Federal Environmental Agency (FEA) project „Country-wide evaluation of data from permanent soil monitoring sites of the federal states" is commented. In part two methodical problems of the evaluation of country-wide data are discussed. It is shown how different determination methods of heavy metal values could affect the results. A comparison between heavy metal values of the FEA-air measuring net with background values is added.*

Zusammenfassung: *Im ersten Teil wird die Konzeption des UBA-Projektes „Länderübergreifende Auswertung von Daten der BDF der Länder" umrissen. Im zweiten Teil wird auf methodische Probleme bei der Auswertung von länderübergreifenden Daten eingegangen. Es wird gezeigt, wie sich unterschiedliche Methoden bei der Elementgehaltsbestimmung auf die Ergebnisse auswirken. Daran schließt ein Vergleich von Elementgehalten des UBA-Luftmessnetzes mit Hintergrundwerten an.*

Keywords: permanent soil monitoring, heavy metal values, soil parent materials, background values, country-wide data evaluation
Schlagworte: Boden-Dauerbeobachtung, Schwermetallgehalte, Bodenausgangsgesteine, Hintergrundwerte, länderübergreifende Datenauswertung

Veranlassung und Ziele des Projektes „Länderübergreifende Auswertung von Daten der Dauerbeobachtung"

Die in den Ländern eingerichteten Flächen der Boden-Dauerbeobachtung (BDF) spielen als Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes sowie zur Feststellung der Entwicklung und der Veränderung der Böden in einem beobachteten Zeithorizont eine besonders wichtige Rolle. Die bundesweit einheitliche Einrichtung sowie der Betrieb der Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurde weitgehend zwischen den Ländern abgestimmt (SAG 1991). Damit können die Daten für eine bundesweite Auswertung genutzt und nach den Vorgaben von BARTH et al. (2001) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) harmonisiert werden.
Das Umweltbundesamt hat im Jahre 2001 ein Projekt zur länderübergreifenden Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung an das Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH vergeben. An diesem Vorhaben ist auch das Institut für Geologische Wissenschaften der Freien Universität Berlin beteiligt. Beratende Funktion hat das Dezernat Bodengeologie des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg.
Das grundsätzliche Ziel des Projektes ist eine Statuserhebung zum bundesweiten Zustand der Boden-Dauerbeobachtung und das Aufzeigen von Defiziten in Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Daten und Programme. Es wird eine möglichst enge Zusammenarbeit mit den Ländern angestrebt.

Datenformate, Parameterauswahl und Datenabfrage

Im Projekt erfolgt die Zusammenführung der standort-, profil- und horizontbezogenen Geländedaten der BDF der Bundesländer mit den stofflichen Parametern. In einem ersten Arbeitsschritt werden diese standort- und profilbezogenen Daten auf einen einheitlichen und für dieses Projekt notwendigen Stand der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 4. Auflage (KA4, AG BODEN 1996) harmonisiert. Dabei werden die Begriffe, Kurzzeichen, Symbole und Schlüssellisten der KA4 verwendet. Die harmonisierten profilbezogenen Daten bilden dann die Basis für die Auswertung der stofflichen Parameter, die an den Schürfgruben bei der Erstinventur der BDF erhoben wurden. In einem zweiten Schritt werden die von den Ländern zur Verfügung gestellten Prüfergebnisse der stofflichen Parameter hinsichtlich Prüfverfahren, Einheit, Norm, Methode und Qualitätssicherung so harmonisiert, dass eine Auswertung auf einer möglichst breiten Basis erfolgen kann.
Alle BDF-Daten werden in einer Access-Datenbank zur parameterorientierten Dokumentation zusammengeführt. Damit soll zum einen eine zentrale Verwaltung der BDF-Daten sichergestellt werden. Andererseits wird auf diese Weise eine zügige und präzise Auswertung ermöglicht.
Die Auswahl der auszuwertenden stofflichen Parameter richtete sich nach den für den Bodenschutz geltenden gesetzlichen Bestimmungen (BBodSchV 1999). An BDF werden jedoch nicht immer alle in der BBodSchV genannten Parameter untersucht, oft jedoch auch zusätzliche, darüber hinausgehende Parameter. Von der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden-Dauerbeobachtung (AG Boden-Dauerbeobachtung) wurde mit Hinblick auf eine bundesweite Auswertung von BDF vorgeschlagen, die an BDF's untersuchten Parameter in obligatorische und empfohlene zu trennen (BARTH et al. 2001). Die in Tabelle 1 genannten Parameter stellen die auszuwertenden stofflichen Parameter dar, die sowohl in der BBodSchV als auch bei BARTH et al. (2001) als obligatorisch genannt werden. Zugleich ist nach den in SPATZ (2001) gemachten Angaben zu erwarten, dass diese Parameteranzahl an einer möglichst hohen Anzahl an BDF und in allen Ländern vorliegt. Die Abfragedaten umfassen entsprechend der Grundstruktur Boden-Dauerbeobachtung zwei verschiedene Datensätze pro BDF. Das sind zum einen die Daten der Schürfgrube mit horizontbezogener Probenahme für die Erstinventur und für Parameter, bei denen voraussichtlich keine Wiederholungsbeprobungen stattfinden werden, wie Körnung oder Porengrößenverteilung. Als Basis für zukünftige Zeitreihen werden in einem zweiten Datensatz die Prüfergebnisse der Flächenmischproben der Beprobungsflächen jeder BDF bei den Ländern abgefragt. Die Struktur dieser Daten ist länderspezifisch. Zum einen wird die Anzahl der Beprobungsflächen der BDF zwischen den Ländern variieren, aber auch im Tiefenbezug der Daten wird es Unterschiede geben. In jedem Fall sollte bei der Datenabfrage eine Angaben der Entnahmetiefen der Proben und möglichst der Horizontbezug erfolgen. Es muss auch eindeutig vermerkt sein, welcher BDF die jeweiligen Daten zuzuordnen sind. Die Angabe der Prüfergebnisse der Parameter der Tabelle 1 mit Prüfverfahren (Norm, Methode und Bestimmungsgrenzen) ist für die Auswertung unerläßlich. Bei der Auswertung soll unter anderem geprüft werden, in wie weit die Flächendaten der BDF zwischen den Ländern kompatibel sind.

Tabelle 1: Für den Datenaustausch vorgesehene Untersuchungsparameter nach dem BDF-Programm der Länder (BARTH et al. 2001) und der BBodSchV, soweit sie bei den Ländern vorliegen.
X ... Parameter werden für Schürfgrube oder Teilfläche abgefragt; A ... Parameter wird zur Auswertung herangezogen; b ... bezugsbildender Parameter für die Auswertung
Für jeden Parameter ist das genaue Prüfverfahren (Norm und Methode), das zur Bestimmung führte, anzugeben.

Parametergruppe/ Zusatzinformation	**Parameter mit Prüfverfahren**	**Einheit**	**Erhebung Schürfgrube**	**Erhebung BDF-Flächenmischproben**	**Parameterverwendung**
BDF-Nr. o. BDF-Name			X	X	
Belastungssituation			X	X	A
Datum der Probenahme			X	X	
Entnahmetiefe					
Zuordnung zu Tiefenstufe oder Horizont					
anorganische Schadstoffe	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Tl, Zn, Hg (BBodSchV)	mg/kg	X	X	A
	Totalgehalte der Elemente (RFA)	mg/kg	X	X	A
organische Schadstoffe	Chlorpestizide (u.a. *HCB, α- β- γ-HCH, DDD, DDT, DDE*)	mg/kg		X	A
	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (*PAK*-EPA mit Benzo(a)pyren)	mg/kg		X	A
	PCB (Kongenere nach Ballschmiter)	mg/kg		X	A
Bodenbiologie	Mik. Biomasse	$\mu gC_{mik}/g$ TS		X	A
	Mik. Basalatmung	μgCO_2-C/g TS		X	A
Bodenchemie	potentielle Kationenaustauschkapazität (*KAK-pot*) mit austauschbaren Kationen (*Ca, Mg, Na, K, H-Wert*) und effektive KAK (KAK_{eff})	$cmol_c/kg$ (mg/l)	X	X	A
	Elementgehalte (*Ca, Mg, Fe, K, Mn, P, S*)	mg/kg	X	X	A
	pH-Wert (in $CaCl_2$, H_2O)		X	X	b
	totaler Kohlenstoffgehalt (C_t)	Masse-%	X	X	b
	organischer Kohlenstoffgehalt (C_{org})	Masse-%	X	X	b
	totaler Stickstoffgehalt (N_t)	Masse-%	X	X	b
	Carbonatgehalt ($CaCO_3$)	Masse-%	X	X	b
	Trockensubstanz/Wassergehalt	Masse-%	X	X	b
Bodenphysik	Korngrößenzusammensetzung mit Bodenart	Masse-%	X	X	b
	Rohdichte, trocken (*dB*)	g/cm^3	X	X	b
	Festsubstanzdichte (*dF*)	g/cm^3	X	X	b
	Porengrößenverteilung (*pF*)	cm^3/cm^3 Vol.-%	X		b
	Wasserleitfähigkeit (*Kf*)	cm/d	X		b

Vergleichbarkeit von Prüfergebnissen und Prüfverfahren ausgewählter Parameter anhand eines Beispieldatensatzes

- **Material und Methoden**

Im Rahmen der Untersuchung der Böden im direkten Umfeld der UBA-Messnetzstandorte in den Ländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen zur Vervollständigung des bundesweiten Umweltbeobachtungsnetzes des Umweltbundesamtes (FKZ: 299 71 226) wurde ein bodenkundlicher Beispieldatensatz an 11 Standorten erhoben (Tab. 2). Ziel dieser Untersuchung war es, zum einen eine Plausibilitätsprüfung der erhaltenen Elementgehalte und einen exemplarischen Vergleich der Gehalte von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn eines Beispieldatensatzes mit Hintergrundwerten und anhand von Substratgruppen vorzunehmen. Die Untersuchungen wurden durch das Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH koordiniert. Die Erhebung der Daten im Gelände erfolgte durch die Geologischen Dienste der genannten Bundesländer nach einem abgestimmten Verfahren. Es wurden Beprobungspunkte jeweils an der Messstation und im Umkreis von zwei Kilometern um die jeweilige Station in Form von Schürfgruben bzw. Sondierungsbohrungen angelegt. Für jede Schürfgrube/Sondierungsbohrung wurde ein Profilbeschrieb entsprechend der KA4 angefertigt. An insgesamt 103 Bodenprofilen konnten 480 Horizonte beprobt werden, von denen an 343 Horizonten anorganische Schadstoffe entsprechend der BBodSchV untersucht wurden.

Alle Proben wurden entsprechend des Probenflussschemas der BBodSchV aufgearbeitet und analysiert. Durch zwei Labore (Labor 1 und Labor 2) erfolgte eine Bestimmung der Elementgehalte von Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, und Cd nach dem Königswasseraufschluss mit ICP-AES-Messung. Zusätzlich wurden durch die Labore 2 und 3 Röntgenfluoreszensanalyse mit Schmelzaufschluss (RFA-S) und an Labor 4 Röntgenfluoreszensanalyse mit Pressverfahren (RFA-P) für diese Elemente durchgeführt.

Um eine einheitliche Datenbasis für die Bewertung zu bekommen, erfolgte die Umrechnung der KW/ICP-Werte zu Totalgehalten nach UTERMANN et al. (1999). Die untersuchten Beprobungspunkte wurden entsprechend ihrer geographischen Lage den Legendeneinheiten der Karte der Bodenausgangsgesteine zugeordnet (UTERMANN et al. 1999). Zusätzlich erfolgte eine Differenzierung nach den Hauptnutzungsarten Acker, Forst und Grünland. Für den Vergleich der gemessenen Gehalte mit den Hintergrundwerten der LABO (1998) und UTERMANN et al. (1999) wurden nur Oberbodenproben verwendet. Dabei wurden alle vollständig erfassten A-Horizonte oberhalb einer, in Abhängigkeit von der Nutzung definierten Tiefenstufe (Grünland 10 cm, Wald 10 cm, Acker immer Ap) ausgewertet. In Fällen, in denen der oberste A-Horizont größer als 10 cm war, wurde seine ganze Mächtigkeit berücksichtigt. Die Datenmenge des Beispieldatensatzes umfasste 179 Mineraloberbodenproben. Da nicht in allen Varianten von BAG und Nutzung ausreichende Stichproben gebildet werden konnten, standen für die Auswertung insgesamt 153 Oberbodenproben der Bodenausgangsgesteinsgruppen Sande (SAN), Lösse (LÖS) und Tonsteine (TST) der genannten Hauptnutzungsarten für den Vergleich mit Hintergrundwerten zur Verfügung.

Tabelle 2: Untersuchte Standorte des Luftmessnetzes des Umweltbundesamtes und Zuordnung der in deren Umfeld erhobenen Beprobungspunkte zu den Legendeneinheiten der Karte der Bodenausgangsgesteine 1:1.000.000 (BAK 1000)
BB...Brandenburg, MV...Mecklenburg-Vorpommern, SN...Sachsen, TH...Thüringen, G/S...Geschiebemergel/-lehme mit sandiger Deckschicht, SAN...Sande, LÖS...Lösse, TST...Tonsteine, SMM...Saure Magmatite und Metamorphite, SST...Sandsteine

Standort (Land)	Bodenausgangsgesteinsgruppe
Doberlug-Kirchhain (BB)	G/S, SAN
Falkenberg (BB)	G/S, SAN
Lehnmühle (SN)	TST, SMM
Leinefelde (TH)	LÖS, TST
Lückendorf (SN)	SST
Melpitz (SN)	SAN
Neuglobsow (BB)	SAN
Schmücke (TH)	LÖS, SMM, SST
Schorfheide (BB)	SAN
Ueckermünde (MV)	SAN
Zingst (MV)	SAN

- **Ergebnisse und Diskussion**

In Abbildung 1 sind die Regressionsergebnisse für den Vergleich der mittels KW/ICP-AES untersuchten Proben dargestellt. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionen (r^2) liegen zwischen 0,90 für Kupfer und 0,78 für Zink. Darüber hinaus liegt die Punktverteilung der Daten auch nahe der 1 : 1-Linie. Bei den genannten Bestimmtheitsmaßen sind für Pb, Cu und Ni mehr als 80 % der Gesamtstreuung auf die jeweils erklärende Variable zurückzuführen. Lediglich bei Zn liegt dieser Anteil bei 78 %. Damit ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Labore gegeben. Die in der Abbildung 1 dargestellte Reststreuung der Daten lässt sich für die genannten Elemente zum großen Teil auf die Variabilität der Verteilung der Schadstoffgehalte im Boden zurückführen. Bei Cadmium fällt zunächst auf, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen gibt.
Deshalb wurde geprüft, inwieweit sich beide Messverfahren unterscheiden. Nach der Norm DIN EN ISO 11885 kann das Element Cadmium bei 226 nm durch Fe gestört werden. Die Darstellung der Cd-Gehalte in der nachfolgenden Abbildung 2 lässt die Vermutung zu, dass bei Labor 1 eine Störung durch Fe bei 226 nm vorlag, da mit steigender Cadmiumkonzentration die Vergleichbarkeit der Gehalte der Labore abnahm (Abb. 1, Cd) und eine Korrelation von 0,68 zwischen den Gehalten von Cadmium und Fe_2O_3 erreicht wurde (Abb. 2). Da bei Korrelation Cd-Fe2O3 des Labors 2 nur ein Bestimmtheitsmaß von 0,30 ermittelt wurde, kann geschlussfolgert werden, dass ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Cd-Werten von Labor 1 mit Fe als Störelement gegenüber Labor 2 besteht. Aufgrund dieser methodischen Probleme wurde eine Auswertung mit Cadmium nicht weiter verfolgt.

Ein Vergleich der Elementgehalte mit Hintergrunddaten ist nur mit Totalgehalten möglich. Für die Elemente Pb, Zn, Cr, Cu und Ni lagen für 68 von 343 Proben keine Totalgehalte vor. Dies machte eine Umrechnung der mittels KW/ICP-AES gewonnenen Werte in Totalgehalte (RFA) notwendig. Abbildung 3 zeigt die für jeweils 275 Proben erhaltenen Korrelationen zwischen KW/ICP-AES und RFA.

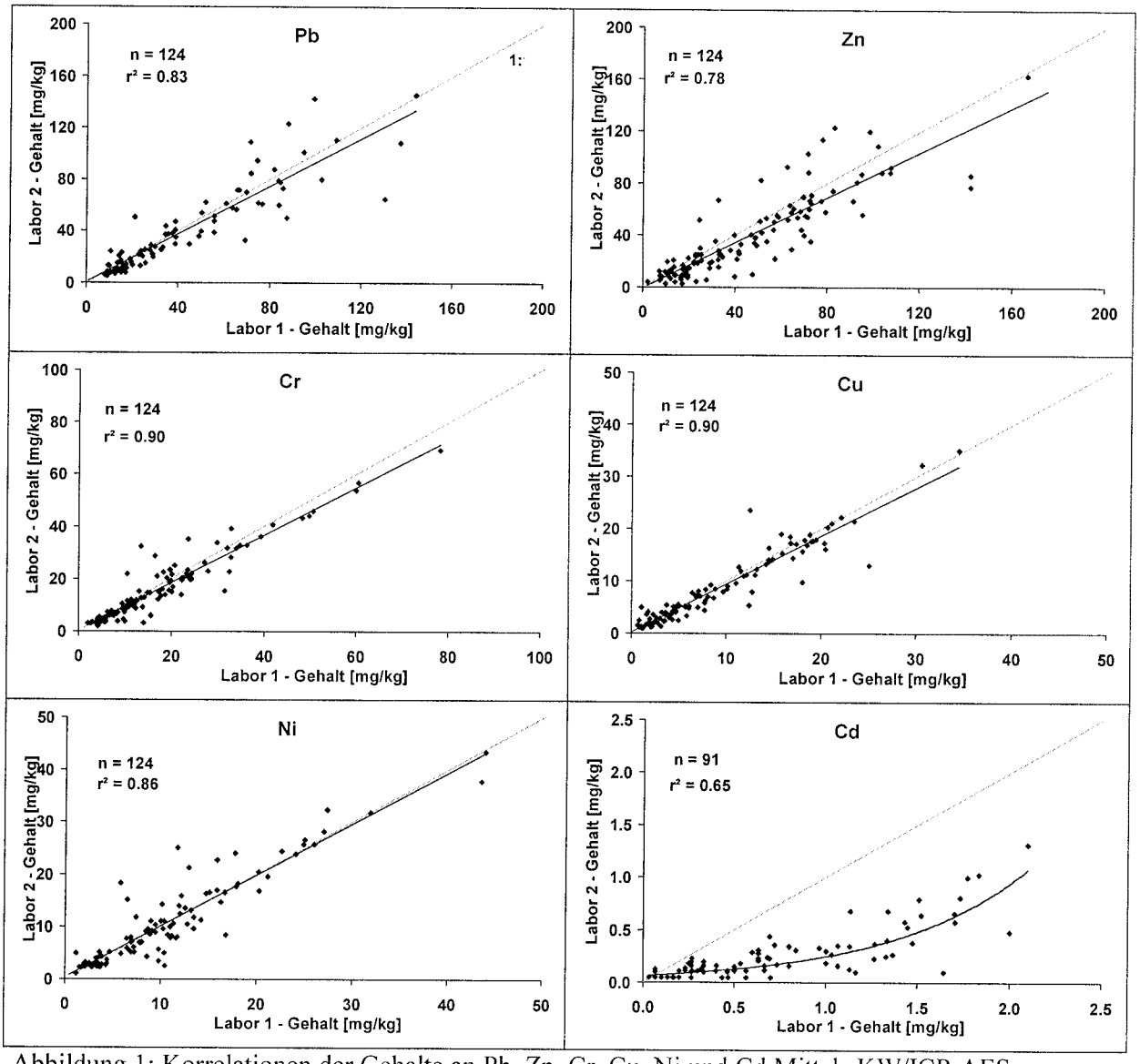


Abbildung 1: Korrelationen der Gehalte an Pb, Zn, Cr, Cu, Ni und Cd Mittels KW/ICP-AES gemessenen Proben der Labore 1 und 2

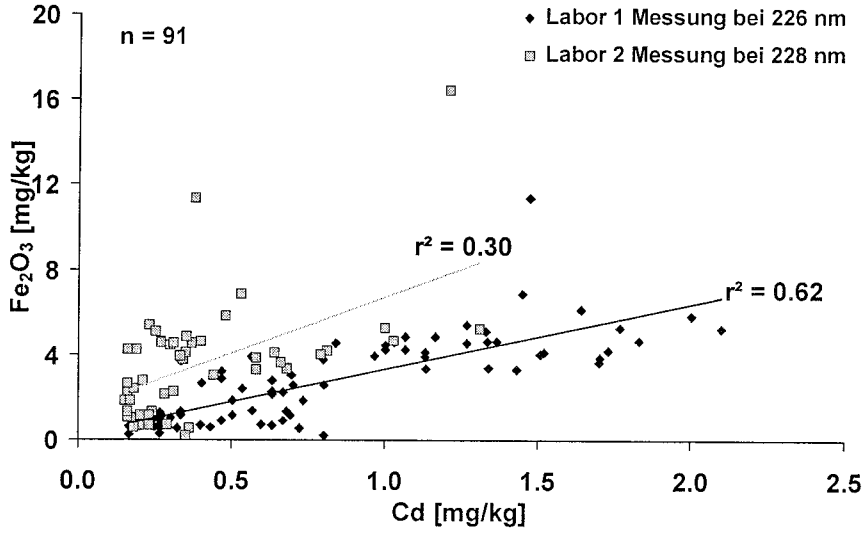


Abbildung 2: Korrelationen der Fe2O3-Gehalten zu den Cd-Gehalte, die mittels KW/ICP-AES von Labor 1 und Labor 2 bestimmt wurden

Bei den RFA-Gehalten wurde nicht zwischen Schmelzaufschluss und Pressverfahren unterschieden. Zum Vergleich wurden die von UTERMANN et al. (1999) ermittelten Regressionsgeraden und Bestimmtheitsmaße für die Elemente mitangegeben. Bei Pb, Zn und Cu ergibt sich eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der Lage der Regressionsgeraden, bei Ni und Cr treten Abweichungen auf. Die Bestimmtheitsmaße der Luftmessnetzwerte sind mit Ausnahme von Zn deutlich niedriger als bei UTERMANN et al. (1999). Die Ursache liegt in den unterschiedlichen Aufschlussverfahren und Bestimmungsgrenzen der verschiedenen Labore des Luftmessnetzes, die zu einer erhöhten Streuung führen können. Zusätzlich wurden die Hintergrundwerte von UTERMANN et al. (1999), denen eine größere Stichprobe aus ganz Deutschland zugrunde liegt, um Ausreißer bereinigt, die außerhalb der Normalverteilung lagen.

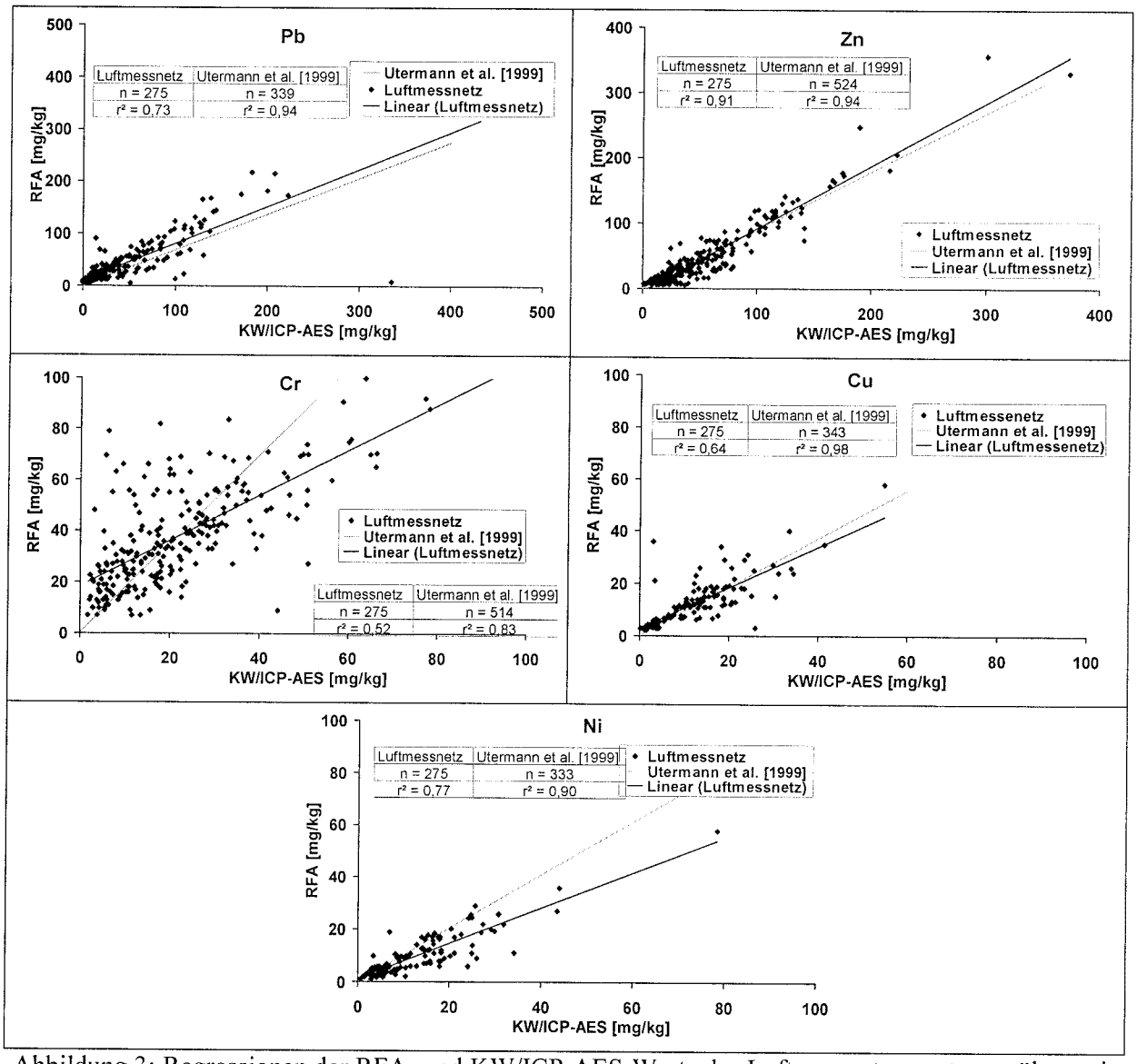


Abbildung 3: Regressionen der RFA- und KW/ICP-AES-Werte des Luftmessnetzes nutzungsübergreifend für die Elemente im Vergleich mit den Ergebnissen von UTERMANN et al. (1999)

Die Mediane und 90 %-Perzentile der Schwermetallgehalte für Ackerböden sind vergleichbar mit den Hintergrundwerten von UTERMANN et al. (1999) und LABO (1998). Trotz des geringen Stichprobenumfanges liegen die Mediane der eigenen Werte unter den 90 %-Perzentilen der Hintergrundwerte,

lediglich der Pb-Wert von Tonstein (Acker) liegt deutlich darüber (Abb. 4). Von den drei untersuchten Proben waren zwei vom Standort Lehnmühle, die Blei-Gehalte von 126 und 140 mg/kg aufwiesen.
Für die Forststandorte lag ein relativ hoher Stichprobenumfang für die Sande und Lösse vor (Abb. 5). Auch hier zeigten sich bis auf Blei für Tonsteine keine erhöhten Schwermetallgehalte. Bei Tonsteinen unter Forstnutzung wurde der höchste Bleigehalt in einem Profil am Standort Lehnmühle von 432 mg/kg gefunden. Dieser Gehalt wurde unter einem rohhumusartigen Moder in einem nur 3 cm mächtigen Ah-Horizont gefunden. Der pH-Wert im Ah-Horizont betrug pH 3,2. Da Blei bereits ab etwa pH 4 im Boden mobilisiert wird (BLUME 1992) ist davon auszugehen, dass es sich hier neben der allgemein örtlich erhöhten Bleigehalte zusätzlich um eine pH-Wert bedingte Anreicherung im Ah-Horizont handelt. Im darunterliegenden Bv-Horizont mit pH 3,7 lag die Pb-Konzentration nur noch bei 223 mg/kg. Ab 18 cm Bodentiefe war der pH-Wert bei 4,5 und die Bleigehalte unter den Hintergrundwerten.

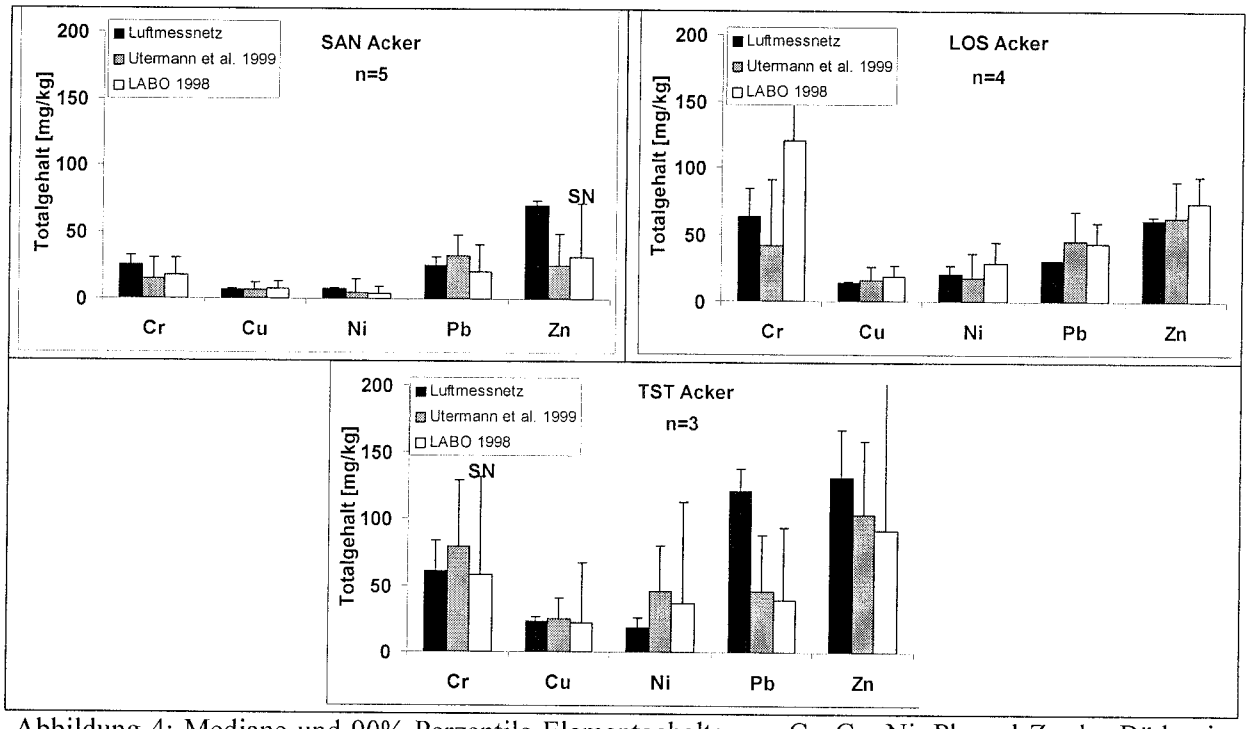


Abbildung 4: Mediane und 90%-Perzentile Elementgehalte von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn der Böden in der Umgebung der Luftmessnetzstandorte des Umweltbundesamtes für Acker, getrennt nach den BAG Sande (SAN), Lösse (LÖS) und Tonsteine (TST) im Vergleich mit Hintergrundwerten von UTERMANN et al. (1999) und der LABO (1998).

Unter Grünland lag nur für Sande und Tonsteine ein auswertbarer Stichprobenumfang vor (Abb. 5 unten). Auch hier liegen bei den meisten Metallen die Mediane der Gehalte der Standorte des Luftmessnetzes unter den 90 %-Perzentilen der Vergleichswerte aus der Literatur (Abb. 5). Allerdings wurden unter Grünland bei den Sanden allgemein hohe Cr-Gehalte gefunden. In die Auswertung der Cr-Gehalte gingen die Standorte Neuglobsow, Falkenberg, Schorfheide, Melpitz, Ueckermünde und Zingst ein. Als Hintergrundwerte dienten die Werte von UTERMANN et al. (1999) für Nordostdeutsche Sande (Median = 13, 90 %-Perzentil = 29) und die der LABO (1998) für Brandenburg (Median = 5, 90 %-Perzentil = 9). Von den 32 untersuchten Proben lagen bei 28 Proben die Gehalte über den Medianen von UTERMANN et al. (1999), hinsichtlich der 90 %-Perzentile bei 22 Proben. Da diese Ergebnisse übergreifend für alle sechs untersuchten Standorte zutreffen, kann man nicht von einer punktuellen Belastung sprechen, sondern eher von allgemein hohen Cr-Gehalten für Sande unter Grünland.

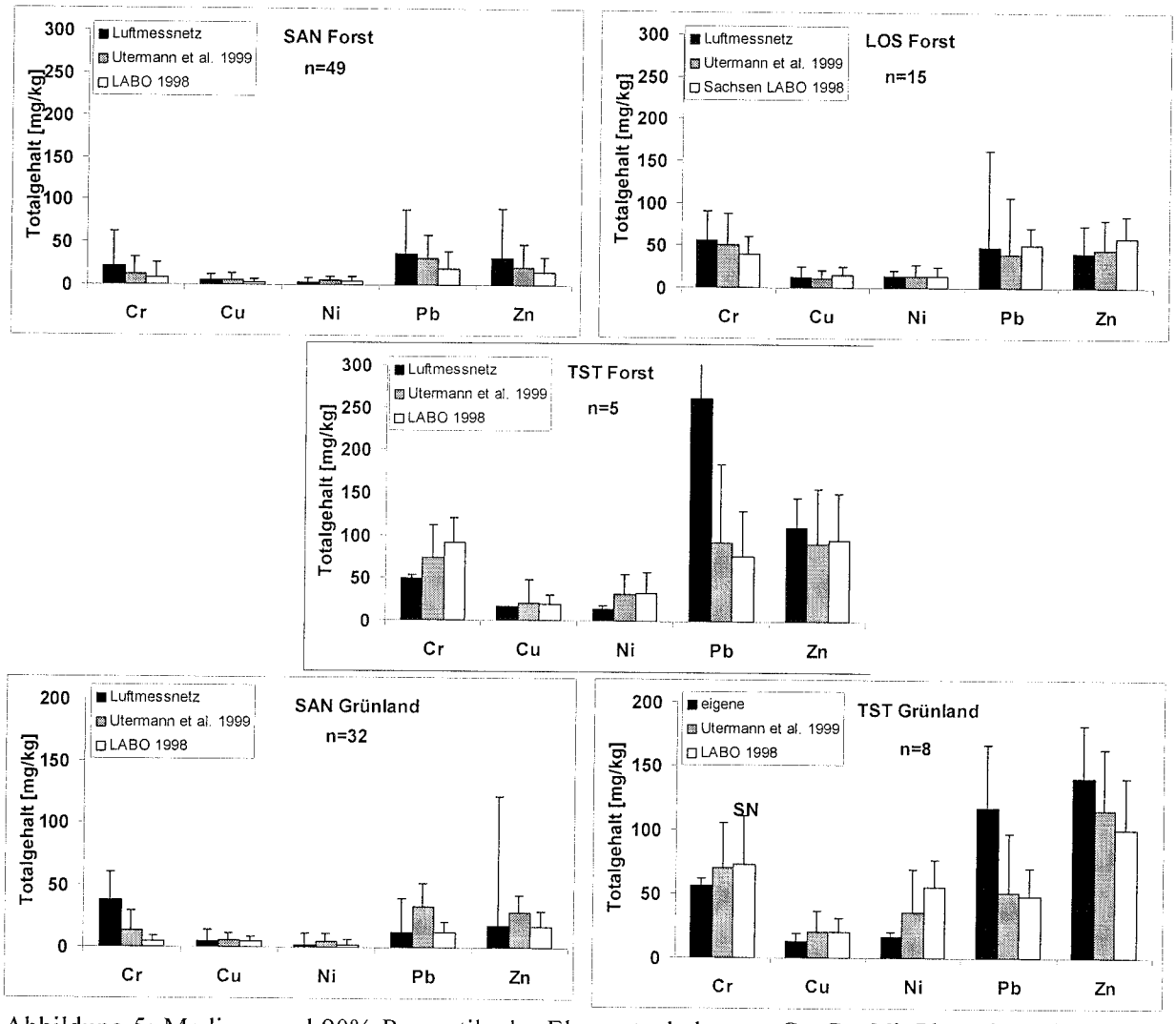


Abbildung 5: Mediane und 90%-Perzentile der Elementgehalte von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn der Böden in der Umgebung der Luftmessnetzstandorte des Umweltbundesamtes für Forst und Grünland, getrennt nach den BAG Sande (SAN), Lösse (LÖS), und Tonsteine (TST) im Vergleich mit Hintergrundwerten von UTERMANN et al. (1999) und der LABO (1998).
- Für LOS Forst wurden Vergleichswerte ohne Nutzungsdifferenzierung herangezogen; für TST Grünland Werte aus Sachsen und für SAN Grünland Vergleichswerte aus Brandenburg.

Von den insgesamt 40 betrachteten Varianten Schwermetall-Bodenausgangsgesteinsgruppe-Nutzung lagen alle drei Nutzungen für Tonsteine bei Blei über den 90 %-Perzentilen der Literatur. Dies ist auf eine punktuelle Akkumulation am Standort Lehnmühle zurückzuführen. Für die Sande unter Grünland wurden bei Chrom unter allen sechs ausgewerteten Standorten ebenfalls hohe Gehalte gefunden.

Ausblick

Im Projekt „Länderübergreifende Auswertung von Daten der Dauerbeobachtung der Länder" werden zunächst die standort-, profil- und horizontbezogenen Geländedaten harmonisiert. Auf ihnen soll dann eine weitere Auswertung der stofflichen Parameter basieren. Auch diese müssen erst harmonisiert und auf ihre Vergleichbarkeit geprüft werden. Erste Erfahrungen mit Datenbeständen aus verschiedenen Labors sollen dabei, wie oben beschrieben, genutzt werden. Hinsichtlich der Auswertung der Daten ist es vorgesehen, z.B. Vergleiche mit Hintergrundwerten für organische und anorganische Parameter

durchzuführen. Damit wird es möglich, bundesweit den Zustand der Bodendauerbeobachtungsflächen zu charakterisieren.
Darüber hinaus sollen aber auch Möglichkeiten diskutiert werden, inwieweit eine Berücksichtigung z.B. der Kd- und Kow- Werte, der Wasserlöslichkeit von Schadstoffen im Boden analog zur Konzeption von Gawlik & Muntau (1999) und den OECD-Richtlinien erfolgen kann. Es soll auch geprüft werden, wie eine Verbesserung der Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Labors erfolgen kann. Dabei können künftig auch laborexterne Vergleichsmessungen eine Rolle spielen.

Literatur

AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl., Hannover.
BARTH, N., W. BRANDTNER, E. CORDSEN, T. DANN, K.-H. EMMRICH, D. FELDHAUS, B. KLEEFISCH, B. SCHILLING, J. UTERMANN (2001): Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. - In: ROSENKRANZ, D., G. BACHMANN, W. KÖNIG, G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz: Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für den Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Kennziffer 9006, Berlin.
BLUME, H.-P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes. - Ecomed, Landsberg/Lech.
BBodSchV (1999): Bundesregierung: Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). - BGBl, I. Teil, Nr. 36 vom 16.7.1999, pp. 1554 ff.
GAWLIK, B. M., MUNTAU, H. (1999): Eurosoils II, Laboratory Reference Materials for Soil-related Studies, European Commission.
LABO (Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO) (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. - In: ROSENKRANZ, D., G. BACHMANN, W. KÖNIG, G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz: Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für den Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Kennziffer 9006, Berlin.
SAG (Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der UMK) (1991): Bericht der UAG Boden-Dauerbeobachtungsflächen. - Arbeitshefte Bodenschutz 1, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
SPATZ, P. (2001): Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Boden-Dauerbeobachtung. - UBA-Texte 22/01. Umweltbundesamt, Berlin.
UTERMANN, J., O. DÜWEL, M. FUCHS, H.-E. GÄBLER, E. GEHRT, R. HINDEL, J. SCHNEIDER (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. - Umweltbundesamt Texte 95/99.

Dank

Die vorgestellten Ergebnisse wurden dankenswerter Weise durch das Umweltbundesamt, Fachgebiet II 5.2, Herrn Dr. Glante gefördert. Weiterhin möchten wir uns bei den Geologischen Diensten der Bundesländer Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen sowie Herrn Dr. Bussian Umweltbundesamt, Fachgebiet II 5.4 für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Boden-Dauerbeobachtung und integriertes ökologisches Monitoring am Beispiel des Landes Brandenburg

Schultz-Sternberg, R., M. Oelze

Landesumweltamt Brandenburg, Berliner Str. 21-25, 14467 Potsdam

E-mail: ruediger.schultz-sternberg@lua.brandenburg.de

Abstract:

In the State of Brandenburg an integrating ecological monitoring is developed, in order to optimize the spatial and methodical harmonisation of different environmental monitoring programs. On 12 measuring sites the operational readiness level of all legal environmental monitorings is to be achieved. In addition the measurements from the existing monitoring programs are to be supplemented on the measuring sites with ecological effect indicators and process observations.

Zusammenfassung:

Im Land Brandenburg wird eine Integrierende Ökologische Dauerbeobachtung (IÖDB) aufgebaut, um die räumliche und inhaltliche Abstimmung der verschiedenen Umweltmessnetze zu optimieren. Auf 12 Kernflächen soll die Präsenz aller gesetzlichen Umweltmessnetze im Land erreicht werden. Außerdem sollen dort die Messungen aus den einzelnen Messprogrammen um ökologische Wirkungsindikatoren und Prozessbeobachtungen ergänzt werden.

Keywords:

soil-monitoring, environmental monitoring, Brandenburg, soil protection, ecology

Schlagworte:

Boden-Dauerbeobachtung, Integrierte Umweltbeobachtung, Brandenburg, Bodenschutz, Ökologie

1. Notwendigkeit einer Integrierten Umweltbeobachtung

Der Boden hat eine zentrale Steuerungsfunktion im Naturhaushalt terrestrischer Ökosysteme. Die Bodendauerbeobachtung, die neben der Dokumentation der Bodenmerkmale über die Zeit auch eine Wirkungs- und Prozessbeobachtung verfolgen soll (Barth et al. 2001), muss daher über die traditionelle, medial orientierte Betrachtung hinaus gehen. Anforderungen in Hinblick auf ein verstärkt ökologisch orientiertes Monitoring werden in zunehmendem Maße auch an andere medial oder sektoral orientierte Landesmessnetze gestellt. So ergeben sich für die Bereiche des Gewässer-,

Immissions- und Naturschutzes solche Anforderungen in erster Linie aus Berichts- und Informationspflichten aufgrund bundesrechtlicher und supranationaler Regelungen (z. B. Wasserrahmenrichtlinie, FFH-Richtlinie). In anderen Fällen sind Monitoringprogramme zur Erfolgskontrolle (z.B. im Bereich der Agrarumweltmaßnahmen) oder Beobachtungsprogramme im Rahmen von Zulassungsverfahren (z.B. der Pflanzenschutzmittelzulassung und dem Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen) einzurichten.
Die zunehmenden Anforderungen an eine verstärkte ökologische Wirkungs- und Prozessbeobachtung sind für die Länder fachlich und finanziell sicherlich nur durch eine engere Integration der bisher medial organisierten Messnetze zu erreichen. Forderungen nach der Errichtung einer länderübergreifend abgestimmten ökologischen Umweltbeobachtung wurden schon in mehreren Umweltgutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) erhoben.

2. Integrierende Ökologische Dauerbeobachtung Brandenburg (IÖDB)

Im Land Brandenburg wird federführend durch das Landesumweltamt eine Integrierende Ökologische Dauerbeobachtung aufgebaut. Ziel der IÖDB ist es, Dauerbeobachtungsflächen aus bestehenden, sektoral ausgerichteten Messnetzen über einen ökosystemaren Ansatz zum Aufbau einer medienübergreifenden Umweltbeobachtung zusammenzuführen. Kernpunkte des Konzeptes der IÖDB bilden dabei

- die Zusammenführung bestehender Messaktivitäten auf ausgewählten Standorten
- methodische Abstimmungen zwischen den Messnetzen
- ergänzende ökologische Beobachtungen und
- medienübergreifende ökologische Auswertungen.

In landestypischen Lebensräumen sollen bestimmende Prozesse und Merkmale untersucht werden, um einen Überblick über Zustände und Entwicklungen der verschiedenen Ökosysteme zu erhalten (Schultz-Sternberg 1997). Zu diesem Zweck werden die in Abbildung 1 dargestellten 12 Dauerbeobachtungsflächen (IÖDB-Kernflächen) schrittweise eingerichtet.

Die Auswahl der Kernflächen orientierte sich an wichtigen und für das Land Brandenburg charakteristischen Ökosystem-, Nutzungs- und Belastungstypen. Berücksichtigt wurden dabei Acker-, Grünland-, und Waldökosysteme, Fluss-Auen, Überschwemmungsmoore, Bergbaufolgelandschaften, ehemalige Truppenübungsplätze, aufgelassene Rieselfelder, sowie der Immissionseinfluss in Emittentennähe und in der Leelage des Ballungsraums Berlin (Oelze und Schultz-Sternberg 1999).

Neben der Repräsentativität für Naturräume und Belastungen waren auch das Vorhandensein schon bestehender Messpunkte aus Luft-, Boden-, Grundwassermessnetzen ein wichtiges Auswahlkriterium. Außerdem wurde auf möglichst leichte Zugänglichkeit, langfristige Sicherung der Fläche und Ausbaubarkeit der Messeinrichtungen geachtet.

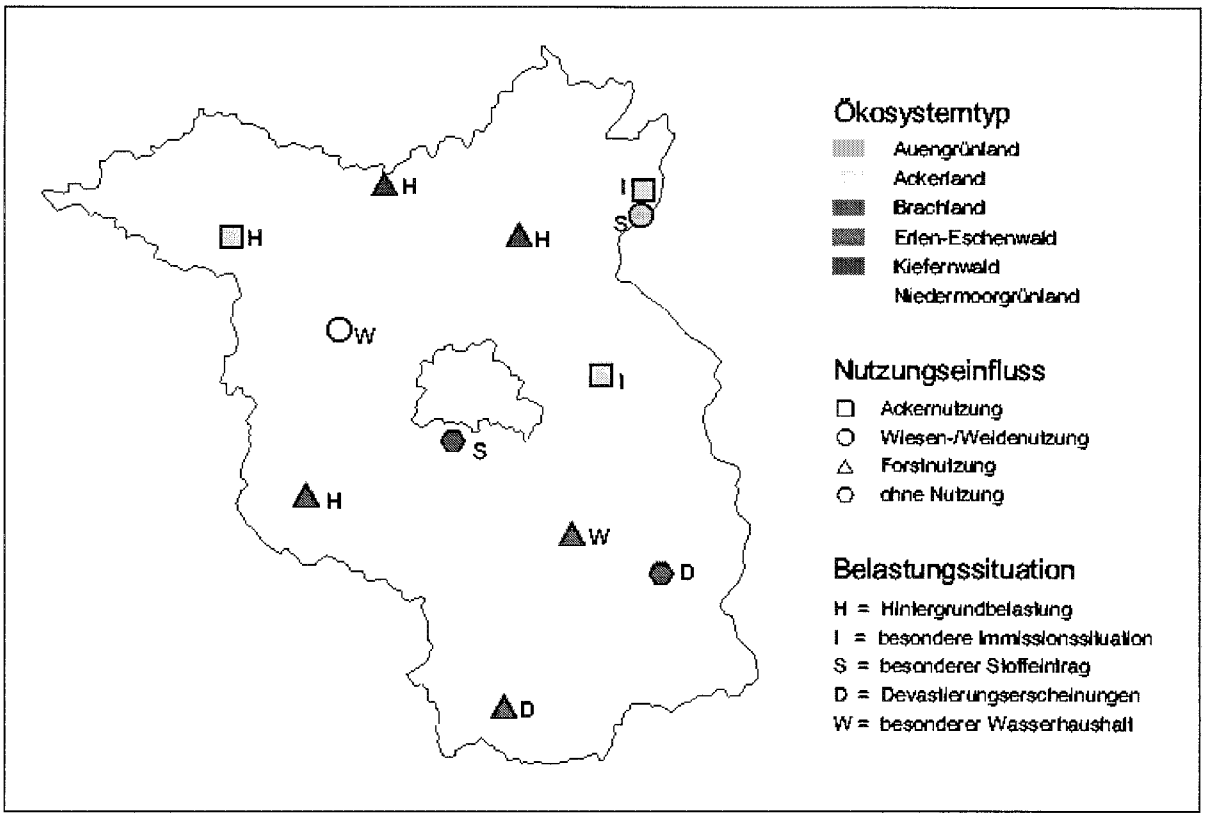


Abb. 1: Kernflächen der integrierenden ökologischen Dauerbeobachtung im Land Brandenburg

Untersucht werden zahlreiche abiotische Parameter sowie Stoffeinträge und Stoffflüsse im System, darüber hinaus auch biotische Parameter wie Vegetationsentwicklung, Bodenfauna, Indikatorarten und Biozönosen. Ergänzend zu den Aussagen aus den Kernflächen sollen Ergebnisse von Ergänzungsflächen (sogenannter Satellitenflächen), auf denen im Rahmen bereits bestehender Messnetze ein thematisch begrenzter Teil der Parameter erfasst wird, in die Auswertung einbezogen werden.

Neben den Fachabteilungen des Landesumweltamtes sind weitere Fachbehörden und Institutionen aus dem Umwelt, Landwirtschafts- und Forstbereich als Messnetzbetreiber an der IÖDB beteiligt (Tab.1). Wissenschaftliche Beratung und Kooperation mit Forschungseinrichtungen und Hochschulen sind ebenfalls ein Stützpfeiler des Programms.

Der organisatorische Aufbau der IÖDB sieht neben dem Betreiber der IÖDB und den Betreibern der einzelnen Messnetze einen Koordinierungsbeirat vor, in dem alle Messnetzbetreiber vertreten sind. Dieser hat als Aufgabe

- die informellen Verbindungen zu den Ämtern und Fachabteilungen herzustellen,
- die Begutachtung von Erfüllungsständen und Arbeitsergebnissen durchzuführen und
- Empfehlungen zu grundsätzlichen Entscheidungen der IÖDB zu geben.

Er soll dabei wesentliche Impulse für die Zusammenführung bestehender Messaktivitäten auf ausgewählten Standorten, die methodische Abstimmungen zwischen den Messnetzen, ergänzende ökologische Beobachtungen und die medienübergreifenden ökologischen Auswertungen liefern.

Tabelle 1: Liste der an der IÖDB beteiligten Landesmessnetze und deren Betreiber

Medial-Sektorale Messnetze	
Messnetz	Betreiber
Immissionsmessnetz	Landesumweltamt Immissionsschutz
Depositionsmessnetz	Landesumweltamt Ökologie
Boden-Dauerbeobachtung	Landesumweltamt Bodenschutz
Oberflächengewässermessnetz	Landesumweltamt Gewässerschutz
Grundwassermessnetz	Landesumweltamt Gewässerschutz
Messaktivitäten des Naturschutzes	Landesumweltamt Naturschutz
Radioaktivitätsmessnetz	Landesamt f. Verbraucherschutz und Landwirtschaft
Messaktivitäten der Landwirtschaft	Landesamt f. Verbraucherschutz und Landwirtschaft
Medienübergreifende Messnetze für Landschaftsausschnitte	
Messnetz	Betreiber
Level-II-Messnetz	Landesanstalt f. Forstwirtschaft Eberswalde
Ökosystemare Umweltbeobachtung der Biosphärenreservate	Landesanstalt für Großschutzgebiete und FH Eberswalde

Dem Landesumweltamt als Betreiber der IÖDB obliegen die Aufgaben von Planung, Abstimmung, Flächenverwaltung, Organisation der Ergänzungsmessungen, Datenzusammenstellung und Auswertung gemäß der Zielsetzung des Konzeptes. Die einzelnen Messnetzbetreiber führen die Messungen im Rahmen ihrer sektoral/medialen Messnetze durch und setzen dabei die abgestimmten Vorgaben der IÖDB um.

3. Boden-Dauerbeobachtung als Basis für eine integrierte Umweltbeobachtung

Der Boden stellt das zentrale Kompartiment von Landökosystemen dar, in dem sich Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre durchdringen . Betrachtet man die Bodenprozesse, so stellen die natürlichen Bodenfunktionen, wie Quellen-, Senken- und Lebensraumfunktion wesentliche Steuergrößen für das Gesamtsystem dar. Auf sie wirken wiederum eine Vielzahl äußerer

Einflussfaktoren, wie in Abb. 2 grob vereinfacht dargestellt.. Die Beobachtung wesentlicher Merkmale und Prozesse im Boden als Gegenstand der Boden-Dauerbeobachtung erfordert eine medienübergreifende Herangehensweise. Damit bietet sich die Boden-Dauerbeobachtung als Basis für ein integriertes Umweltmonitoring an (Barth et al. 2001).

In Brandenburg erfolgt daher eine enge Verknüpfung des Boden-Dauerbeobachtungsmessnetzes mit dem der integrierenden ökologischen Dauerbeobachtung. Aufgabenschwerpunkte der Boden-Dauerbeobachtung bilden dabei die Merkmalsdokumentation (diskontinuierliche Messungen), die Erfassung von Nutzungsdaten sowie Sonderuntersuchungen im Boden mit vorwiegend bodenschutzbezogenem Bezug.

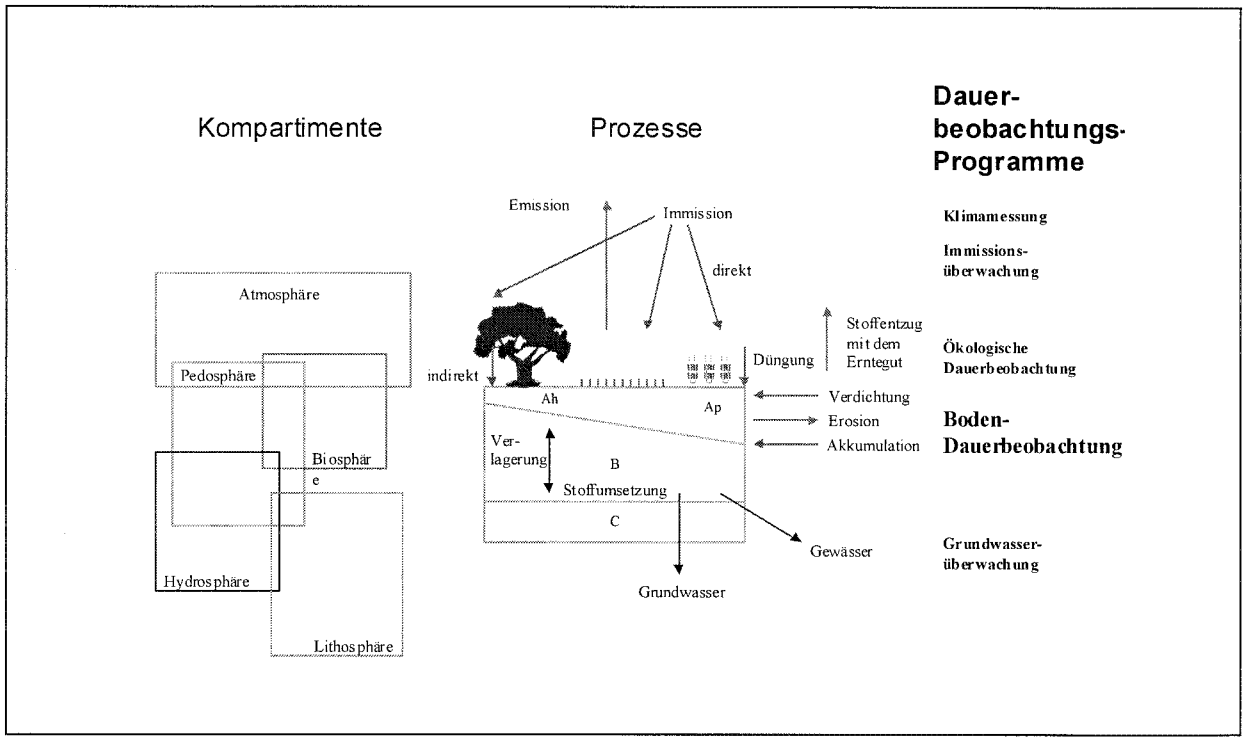


Abb. 2: Boden-Dauerbeobachtung als zentrales Element einer integrierten Umweltbeobachtung (aus Barth et al. 2001)

In der integrierenden ökologischen Dauerbeobachtung sollen dagegen Untersuchungen zur Prozessdokumentation, wie stoffliche Ein- und Austräge und Biomonitoring-Verfahren im Vordergrund stehen.

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Landes Brandenburg und deren Einbindung in die IÖDB sind in Abb. 3 dargestellt. Vier der 30 auf landwirtschaftlich genutzten Flächen eingerichteten BDF sind gleichzeitig Kernflächen der IÖDB, die Einrichtung weiterer 5 BDF auf IÖDB-Flächen ist

vorgesehen. Von den sechs Untersuchungsstandorten des Level-II-Programms, die in Brandenburg die BDF unter Forstnutzung darstellen, sind drei als IÖDB-Kernflächen ausgeweisen.

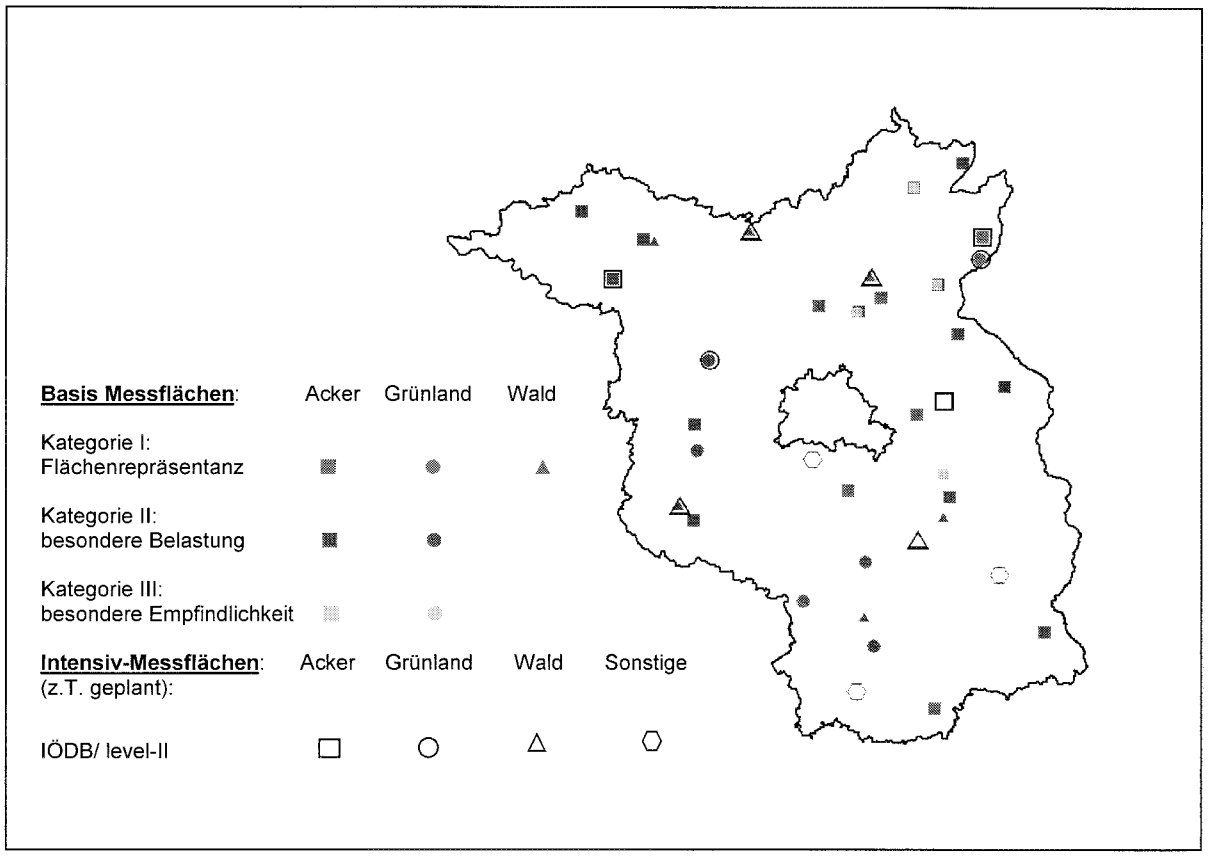


Abb.: 3: Boden-Dauerbeobachtungsflächen Brandenburg

4. Stand der Einrichtung der IÖDB-Kernflächen

Für die Umsetzung der IÖDB-Konzeption ist ein schrittweises Vorgehen vorgesehen. Da keine eigenen Haushaltsmittel zur Verfügung stehen, erfolgt die Einrichtung nach den Möglichkeiten, die sich durch Umorganisation oder Synergieeffekte in den sektoralen Messnetze ergeben.

Zur Zeit erfüllen vier der 12 Kernflächen weitgehend die Anforderungen der IÖDB, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist. Bei dreien handelt es sich um Dauerbeobachtungsflächen im Wald (Level-II-Programm), die vierte stellt einen Niedermoorstandort dar, der in enger Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung ZALF e.V. Müncheberg betrieben wird. Einrichtungsdefizite gibt es noch in den Bereichen der Eintragsmessung von nasser und trockener Deposition, der Boden-Prozessdokumentation, der Grundwassermessung sowie beim Biomonitoring.

Um die räumliche Koordinierung der Messnetze und Messflächen im Land zu unterstützen wird im Rahmen der IÖDB ein Messnetzkataster betrieben. Hierin werden sowohl dauerhafte als auch projektbezogene Umwelt-Untersuchungsprogramme im Land Brandenburg erfasst. Für die Langzeitprogramme werden zusätzlich Angaben zu den einzelnen Messflächen erhoben. Die Daten werden periodisch aktualisiert und beruhen auf freiwilligen Meldungen der Messnetzbetreiber. Das Messnetzkataster bildet ebenfalls die Grundlage zur Auswahl von Ergänzungsflächen. Diese

Tabelle 3: Einrichtungsstand der IÖDB-Flächen

IÖDB-Kernfläche:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vorhanden / bedingt vorhanden / nicht vorhanden / nicht erforderlich	Kienhorst	Neuglobsow	Schönhagen	Zützen	Vierraden	Hasenholz	Spreewald	Klein Leipisch	Paulinenaue	Weizgrund	Lieberose	Mittlere Mark
Immissions-Messstelle												
Staubniederschlags-Messstelle												
Depositions-Messstelle												
Meteorologische Untersuchungen												
Boden-Merkmalsdokumentation												
Boden-Prozessdokumentation												
Grundwasser-Messstelle												
Radioaktivitätsmessungen												
Vegetationsuntersuchungen												
Waldzustandserhebungen												
Moosmonitoring												
Faunistische Untersuchungen												

werden herangezogen, um themenbezogene Aussagen bei unterschiedlicher Abstufungen des Ökosystemtyps, der Nutzung und der Belastung ergänzend zu den Ergebnissen der Kernflächen abzuleiten.

5. Ausblick

Mit dem Aufbau einer integrierenden ökologischen Dauerbeobachtung wird ein wichtiger Schritt zu Bündelung und Harmonisierung der ökologischen Umweltbeobachtung im Land Brandenburg vollzogen. Mit dem Koordinierungsbeirat steht ein fachliches Gremium landesweit als Ansprechpartner für die Planung und Abstimmung aktueller und künftiger Monitoringaktivitäten zur Verfügung. Von großer Bedeutung ist die zunehmende Errichtung fachlicher Schnittstellen zwischen den Messnetzen, da nur so aus einem räumlichen Nebeneinander ein inhaltliches Miteinander wird.

6. Literatur

BART, N., W. BRANDTNER, E. CORDSEN, T. DANN, K.-H. EMMERICH, D. FELDHAUS, B. KLEEFISCH, B. SCHILLING, J. UTERMANN (2001): Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. In: ROSENKRANZ, D., G. BACHMANN, W. KÖNIG, G. EINSELE, [Hrsg.] Bodenschutz: Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für den Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Kennziffer 9152, Berlin.

OELZE, M., R. SCHULTZ-STERNBERG (1999): Der Aufbau der Integrierenden Ökologischen Dauerbeobachtung in Brandenburg (IÖDB) – Ein Konzept für eine ökosystemare Umweltbeobachtung. - Berichte aus der Arbeit 1998, 122-125. Landesumweltamt Brandenburg. Potsdam.

SCHULTZ-STERNBERG, R. (1997): Grundsätze für eine Integrierende Ökologische Dauerbeobachtung als Instrument der Umweltbeobachtung. - Berichte aus der Arbeit 1996, 78-81. Landesumweltamt Brandenburg. Potsdam.

Dauerbeobachtung von Waldböden als integraler Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen

Meesenburg, H., A. Schulze und K.J. Meiwes
Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen,
Henning.Meesenburg@nfv.gwdg.de

Abstract: Long-term soil monitoring plots and Level II plots are central parts of the environmental monitoring of forests in Lower Saxony. Together with other monitoring systems they are an integrative system for precautionary environmental protection. They have been proved as an early warning system, a control instrument for environmental policy, and as data source for the testing of scientific hypotheses.

Zusammenfassung: Die forstlichen Bodendauerbeobachtungsflächen und Level II-Flächen bilden den Kern des forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen und zusammen mit anderen Monitoringprogrammen ein integrales System für den vorsorgenden Umweltschutz. Sie haben sich als Frühwarnsystem zur Indikation von Bodenveränderungen, als Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen und als Datenquelle zur Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen bewährt.

Keywords: Long-term soil monitoring plots, Level II, acidification, nitrogen saturation, integration

Schlagworte: Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Level II, Versauerung, Stickstoffsättigung

1 Einleitung

Waldböden verändern sich. Dies geschieht zwar meist langsam und in meist kaum wahrnehmbarer Form, aber trotzdem können solche Bodenveränderungen zu schwerwiegenden Problemen für die Bodenfunktionen und für darauf stockende Waldbestände führen. Zu den gravierendsten Veränderungen von Waldböden zählen die durch atmogene Deposition verursachte Bodenversauerung und die zunehmende Stickstoffsättigung der Böden. Die zeitliche Veränderung der Waldböden erfordert im Hinblick auf einen vorsorgenden Bodenschutz eine langfristige Beobachtung dieser Systeme.
In Niedersachsen werden seit mehreren Jahrzehnten Langzeitbeobachtungen von Wäldern durchgeführt. Im Solling werden seit 1966 Prozesse in Waldökosystemen beobachtet, welche in die weltweit längsten ökologischen Zeitreihen mündeten. Auf den Waldstandorten im Solling wurde von Bernhard Ulrich und Mitarbeitern eine Methodologie zur Beobachtung von Waldökosystemen entwickelt, die noch heute Bestand hat (ULRICH & MAYER 1973). Anhand der Messergebnisse wurden Theorien zur Stabilität und Veränderungsdynamik von Waldökosystemen abgeleitet (ULRICH 1994). Weitere Beobachtungsflächen mit sehr langer Laufzeit befinden sich z.B. in der Lüneburger Heide, im Göttinger Wald und im Harz. Die Flächen wurden 1992 in das niedersächsische Boden-Dauerbeobachtungsprogramm (BDF) und 1994 in das Pan-Europäische Intensive Waldmonitoring (Level II-Programm) eingegliedert.

2 Forstliches Umweltmonitoring in Niedersachsen

Das forstliche Umweltmonitoring in Niedersachsen gliedert sich in drei Intensitätsstufen (Tab. 1). Auf der untersten Intensitätsstufe (Level 1) werden Inventuren durchgeführt, die Aussagen zum Zustand, zu Schadensschwerpunkten sowie zu Entwicklungstendenzen der Wälder und der Waldböden zulassen. Auf der Level 1-Ebene werden die jährliche Waldzustandserhebung (WZE) und die Bodenzustandserhebung im Walde (BZE) durchgeführt. Die WZE wird in Niedersachsen an 641 Aufnahmepunkten auf einem regelmäßigen 4 x 4 km-Raster durchgeführt und ist damit flächenrepräsentativ. Die BZE wurde bisher einmalig mit Stichdatum 1990 auf einer Unterstichprobe der WZE (8 x 8 km) durchgeführt (BÜTTNER 1997). Eine Wiederholung der BZE ist für den Zeitraum 1994-97 geplant.
Auf der zweiten Intensitätsstufe (Level 2) werden Erhebungen durchgeführt, die zusätzlich der Aufklärung von Ursache-Wirkungsbeziehungen, der Identifizierung von Schlüsselprozessen und der Bestimmung von ökosystemaren Prozessraten dienen. Die forstlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF-F) aus dem niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm und die Level II-Flächen aus dem Europäischen Intensiven Waldmonitoring (ICP Forests) werden von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt nach einheitlichen Grundsätzen betreut. Bei den BDF-F wird zwischen extensiv beobachtenen Flächen (11 Flächen), auf denen vorwiegend Inventuren durchgeführt werden, und intensiv untersuchten Flächen (9 Flächen), auf denen zusätzlich kontiniuierliche Stoffflussmessungen durchgeführt werden, unterschieden. Die Untersuchungen richten sich nach den bundesweit einheitlichen Kriterien zur Boden-Dauerbeobachtung (BARTH et al. 1997) sowie nach den europaweit harmonisierten Richtlinien des ICP-FORESTS (2001). In Niedersachsen sind die BDF-F und Level II-Flächen z.T. identisch. Derzeit werden 866 Level II-Flächen (512 in der EU) in 30 europäischen Staaten betrieben, davon 89 in Deutschland (DE VRIES et al. 2002).

Tabelle 1: Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen

Intensitätsstufe	**Level 1**	**Level 2**	**Level 3**
Programme	**WZE** Waldzustanderhebung **BZE** Bodenzustandserhebung	**BDF-F** forstliche Boden-Dauerbeobachtungsflächen **Level II** Europäisches Intensives Waldmonitoring (ICP Forests)	derzeit keine kontinuierlichen Programme
Anzahl Flächen	**WZE** 641 **BZE** 192	**BDF-F** 20 **Level II** 8	
Ziele	– aktuelle Zustandsbeschreibung – Belastungsschwerpunkte lokalisieren – Trends ermitteln	– Erkennen von Ursache-Wirkungsbeziehungen – Identifizierung von Schlüsselprozessen – Ökosystemare Prozessraten bestimmen – Trends ermitteln	– Analyse ökosystemarer Prozesse
zeitl. Auflösung	**WZE** jährlich **BZE** 10 – 15 Jahre	in Abhängigkeit der untersuchten Parameter periodisch bis kontinuierlich	

Für die Untersuchungen wurden typische Waldökosysteme gutachterlich ausgewählt. Damit sind die Ergebnisse im strengen Sinne nicht flächenrepräsentativ. Die Flächenauswahl erfolgte aber nach Kriterien der Bodenrepräsentanz, der Belastungssituation, der Repräsentanz der wichtigsten Baumarten und der Naturraum- und Landschaftsrepräsentanz, so dass allgemeingültige Aussagen für die häufigsten Waldökosystemtypen zulässig sind (MEESENBURG et al. 1997). Ein wichtiger Aspekt war weiterhin

die Anknüpfungsmöglichkeit an vorhandene lange Messreihen durch die Integration bestehender Messflächen in das Messnetz.

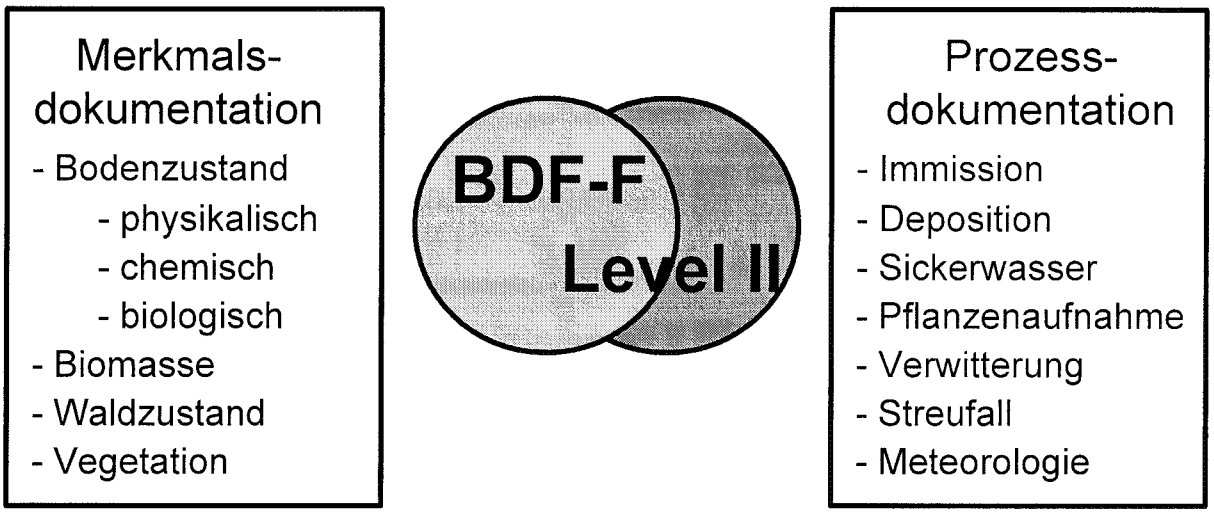


Abbildung 1: Programmbereiche der Monitoringprogramme BDF-F (forstliche Boden-Dauerbeobachtungsflächen) und Level II (Europäisches Intensives Waldmonitoring ICP-Forests) in Niedersachsen.

Auf der dritten Intensitätsstufe (Level 3) werden intensive Fallstudien zur Waldökosystemforschung sowie experimentelle Untersuchungen durchgeführt. In Niedersachsen gibt es derzeit keine kontinuierlichen Programme für Level 3-Untersuchungen. Das Messprogramm auf einem Teil der Level II-Flächen (z.B. Solling) geht aber weit über das Standardprogramm auf dieser Stufe hinaus, so dass diese Flächen dem Level 3 zugeordnet werden können. In Experimenten wie z.B. Meliorations- oder Düngungsversuchen wird in ökosystemare Prozesse eingegriffen, um durch die Kontrolle bestimmter Randbedingungen die Auswirkungen einzelner Faktoren gezielt untersuchen zu können.

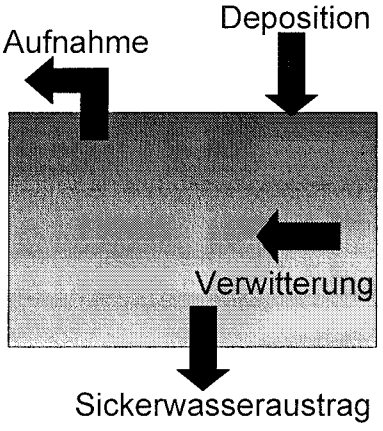


Abbildung 2: Stoffbilanz eines Waldökosystems: Schema der Stoffbilanzierung auf BDF-F und Level II-Flächen in Niedersachsen.

Während auf Level 1-Ebene vorwiegend eine Merkmalsdokumentation stattfindet, zeichnen sich die Untersuchungen auf Level 2 und Level 3 durch eine Kombination von Merkmals- und Prozessdokumentation aus (Abb. 1). Die Merkmalsdokumentation beinhaltet die periodische Bestimmung von

Vorräten und Zuständen wie physikalische, chemische und biologische Bodenuntersuchungen, Erhebungen der Biomasse und deren Inhaltsstoffe, Beurteilungen des Waldzustands durch Kronenansprache und Nadel-/Blattanalysen sowie Aufnahmen der Bodenvegetation.
Durch die kontinuierliche Erfassung von Stoffflüssen können Bodenveränderungen i.d.R. sensitiver als durch Vorratsbetrachtungen erfasst werden. Die Identifizierung der Zustandsveränderung von Waldökosystemen geschieht dabei durch die Messung von externen Flüssen, d.h. Flüssen über die Grenzen des Ökosystems (ULRICH & MAYER 1973). Für Waldökosysteme stellen die Deposition, die Freisetzung durch Verwitterung, die Aufnahme in die Biomasse und der Sickerwasseraustrag die dominanten externen Flüsse für die wichtigsten Elemente (Ausnahme: Kohlenstoff) dar. Über die Bilanzierung dieser Größen können Aussagen zu möglichen Bodenveränderungen und zu einem nachhaltigen Management der Ökosysteme getroffen werden (ULRICH 1994).
Neben den externen Flüssen werden auch einige interne Flüsse wie der Streufall zur Erfassung von ökosystemaren Prozessraten und physikochemische Milieugrößen (Immission, Meteorologie) zur Beurteilung von Stresssituationen für die Waldökosysteme gemessen.

3 Ergebnisse des Langzeitmonitorings von Waldböden in Niedersachsen

Anhand der Flüssemessungen im Solling wurde erstmals die Bedeutung von atmogenen Einträgen für den Stoffhaushalt von Wäldern deutlich (ULRICH et al. 1979). Waldbäume filtern aufgrund ihrer Erstreckung in die Atmosphäre wesentlich höhere Stoffmengen als niederwüchsige Vegetationsformen (Abb. 3). Zwischen den verschiedenen Baumarten gibt es bedeutende Unterschiede. Unter Koniferenbeständen sind aufgrund der ganzjährigen Benadelung meist höhere Depositionsraten zu verzeichnen als unter winterkahlen Laubbaumbeständen (Abb. 3).

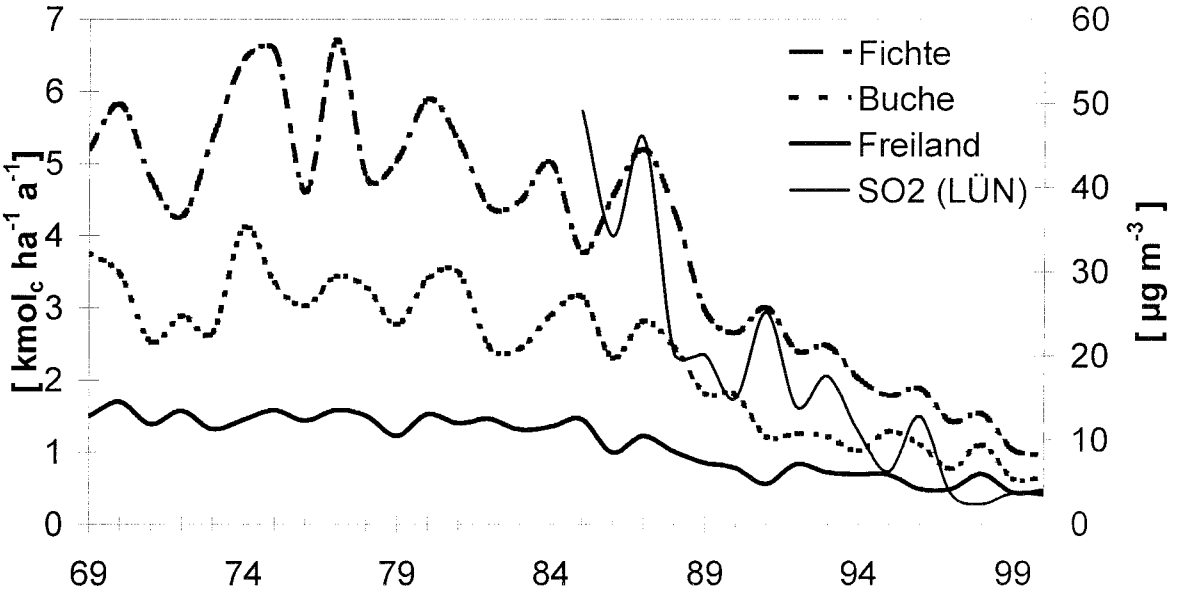


Abbildung 3: Sulfat-Schwefeldeposition (kmol$_c$ ha^{-1} a^{-1}) im Freiland, in einem Buchen- und einem Fichtenbestand im Solling sowie SO_2-Luftkonzentrationen (µg m^{-3}) für die Station Solling/Dassel des Luftüberwachungssystems Niedersachsen (LÜN, die Daten wurden freundlicherweise von Niedersächsischen Landesamt für Ökologie zur Verfügung gestellt).

Die Daten dienten als Entscheidungshilfe für die Umweltgesetzgebung (z.B. Großfeuerungsanlagenverordnung, Benzin-Blei-Gesetze) und als Erfolgskontrolle für die Wirksamkeit dieser Maßnahmen (ULRICH 1993). Die vorliegenden langen Zeitreihen zeigen eine deutliche Reduzierung der Säure- und Sulfatdepositionen (Abb. 3). Im Solling wurde gegen Ende der siebziger Jahre ein Maximum der Sulfateinträge gemessen. Seitdem wurde eine Reduktion der Deposition um mehr als 70% erreicht. Dagegen konnte bei den Stickstoff-Einträgen noch keine starke Verbesserung erreicht werden. Im Fichtenbestand im Solling nahmen die Gesamtstickstoffeinträge seit 1975 um ca. 25% ab (Abb. 5).

Die atmogenen Depositionen bewirken eine Versauerung der Böden und die Auswaschung von Nährstoffen. Auf mehreren BDF-F wurde eine drastische Abnahme der Vorräte an Nährstoffkationen im Mineralboden auf z.T. weniger als ein Drittel innerhalb von 30 Jahren festgestellt (Abb. 4). Gleichzeitig fand auf einigen BDF-F eine Akkumulation von Nährstoffen in der Humusauflage statt (MEIWES et al. 2002). Die Humusvorräte haben sich z.T. mehr als verdoppelt. Als mögliche Ursache wird von MEIWES et al. (2002) die Hemmung der Streuzersetzung durch erhöhte Stickstoffeinträge genannt. Damit hat in der Bilanz eine Verlagerung der Nährstoffkationen vom Mineralboden in die Humusauflage stattgefunden. Was dies für die Nachhaltigkeit der Nährstoffversorgung der Bestände bedeutet, ist noch kaum bekannt. Jedoch ist klar, dass ein schneller Humusvorratsabbau, wie er z.B. nach Kahlschlag eintreten könnte, vermieden werden muss, da damit ein Großteil der Nährstoffvorräte verloren gehen würde.

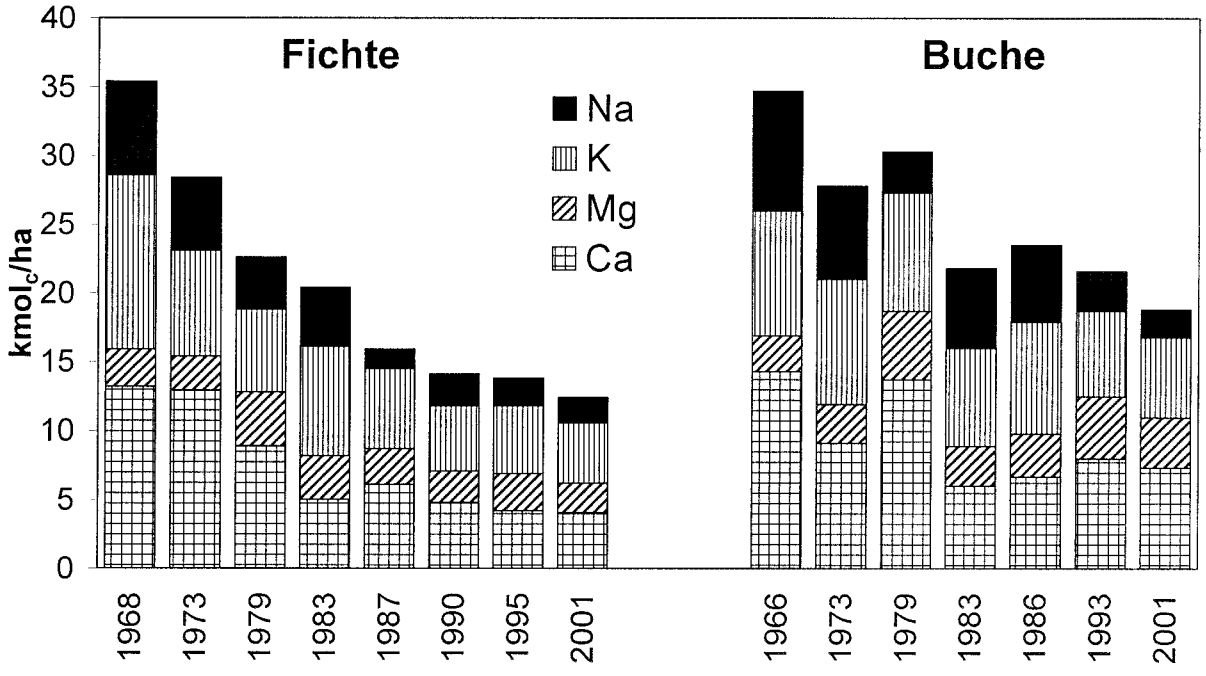


Abbildung 4: Vorräte austauschbarer Kationen ($kmol_c\ ha^{-1}$) im Mineralboden (0 – 50 cm) eines Buchen- und eines Fichtenbestands im Solling zu verschiedenen Zeitpunkten.

Die Höhe der Stickstoffausträge ist ein wichtiges Kriterium für die Stabilität von Waldökosystemen, aber auch für nachgeordnete Systeme wie das Grundwasser. Unter unbelasteten Bedingungen verlassen normalerweise nur sehr geringe Stickstoffmengen die Wurzelzone von Waldöksystemen. Im Solling ist dies unter der Buchenfläche der Fall. Unter dem Fichtenbestand werden beträchtliche Mengen

Stickstoff ausgetragen (Abb. 5). Aufgrund der Bedeutung biologischer Prozesse bei der Stickstoffumsetzung treten hohe interannuelle Schwankungen auf. Trotz dieser Variabilität deutet sich seit Mitte der siebziger Jahre ein Trend zu erhöhten Austrägen an, obwohl die Deposition im gleichen Zeitraum leicht zurückgegangen ist (MEESENBURG et al. 1995). Damit hat sich die Stickstoffsättigung dieses Waldökosystems erhöht.

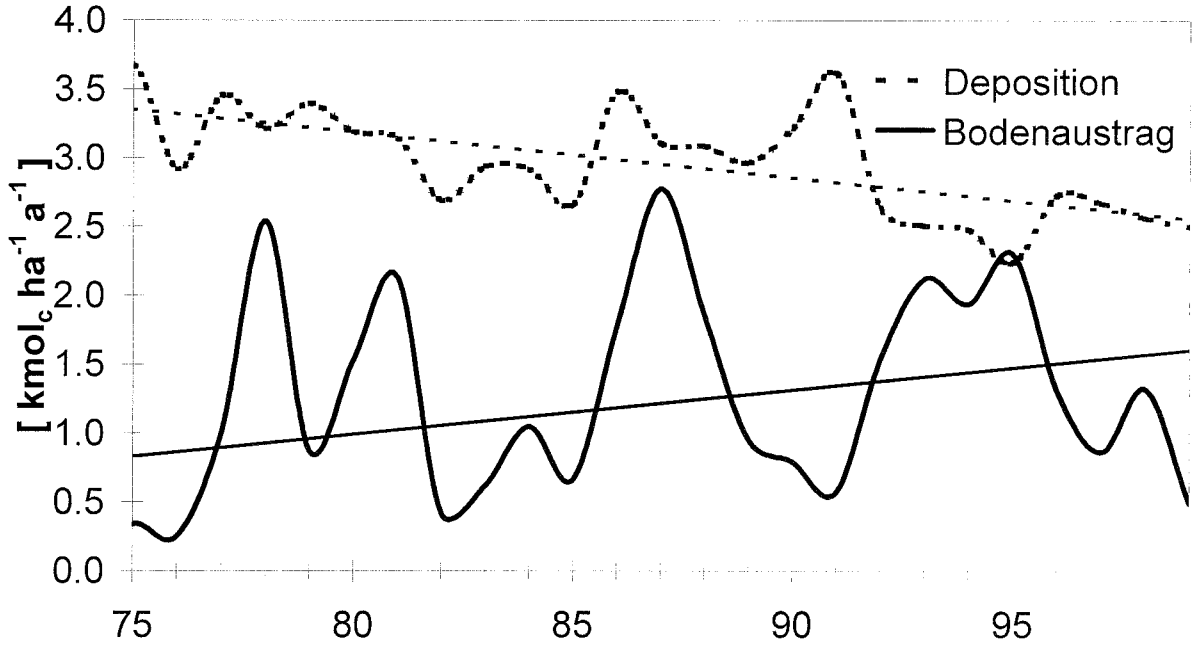


Abbildung 5: Stickstoffeintrag und –austrag mit dem Sickerwasser (kmol$_c$ ha^{-1} a^{-1}) in einem Fichtenbestand im Solling (die eingezeichneten Trendgeraden sind auf dem 10% Niveau signifikant).

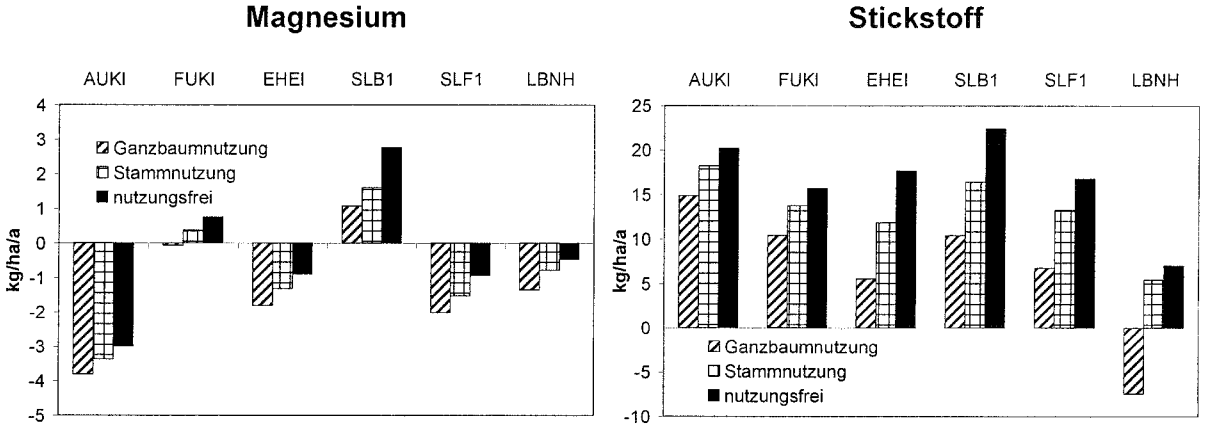


Abbildung 6: Nährstoffbilanzen für ausgewählte BDF-F und Level II-Flächen in Niedersachsen (kmol$_c$ ha^{-1} a^{-1}) Die Bilanzen wurden nach Abb. 2 für drei Szenarien unterschiedlicher forstlicher Nutzung berechnet.

Nährstoffbilanzen für die Waldökosysteme zeigen, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder nur möglich ist, wenn sie an die verfügbaren Nährstoffvorräte angepasst wird. Gegenwärtig ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Nährstoffe auf einigen Flächen überhaupt nicht möglich (Abb. 6).

Damit stellen die Monitoringdaten auch eine wertvolle Entscheidungshilfe für das forstliche Management dar (RADEMACHER et al. 2001).
Aufgrund der Länge der Zeitreihen und der umfassenden Untersuchungen stellen Datensätze von BDF ein wertvolles Instrument für die Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen dar. Langfrist-Simulationsmodelle lassen sich nur mit langen Zeitreihen validieren und für Prognosen und Szenarioanalysen (z.B. Auswirkungen von Luftreinhaltemaßnahmen oder forstlicher Managementstrategien) einsetzen (VAN GRINSVEN 1995). Dann eigen sich die Flächen auch als Eichpunkte für die Regionalisierung des Stoffhaushalts.

4 Integration des forstlichen Umweltmonitorings in andere Monitoringsysteme

Das BDF-F- und Level II-Programm sind Kern eines Umweltmonitoringsystems mit medialer, thematischer und räumlicher Integration von zusätzlichen Umweltbeobachtungen (Abb. 7, 8). Durch die Verknüpfung mit dem Depositionsmessnetz des Umweltbundesamt wird die Einbindung der Depositionsdaten aus dem BDF-F-Netz in bundesweite Programme und zudem der Vergleich von Wet-only- mit Bulk-Depositionsdaten ermöglicht (GAUGER et al. 1999). Daten aus dem Luftüberwachunsgsystem Niedersachen (LÜN) erlauben die Beurteilung von Stresssituationen aufgrund von erhöhten Luftschadstoffgehalten und sind Eingangsparameter für die Modellierung der trockenen Deposition.

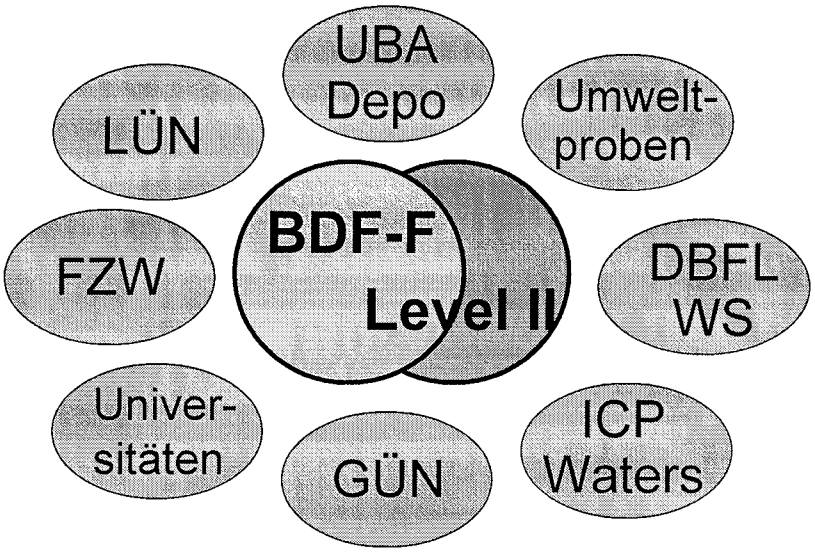


Abbildung 7: Verknüpfung der Monitoringprogramme BDF-F (forstliche Boden-Dauerbeobachtungsflächen) und Level II (Europäisches Intensives Waldmonitoring ICP-Forests) mit anderen Beobachtungsprogrammen (LÜN: Luftüberwachungssystem Niedersachsen, UBA Depo: Depositionsmessnetz des Umweltbundesamt, Umweltproben: Umweltprobenbank des Umweltbundesamt, DBFL WS: Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden, ICP-Waters: Monitoringprogramm für versauerte Gewässer durch Luftschadstoffe der UN-ECE, GÜN: Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen, FZW Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen).

Am Standort Lange Bramke ist eine Verknüpfung mit dem Monitoringprogramm für versauerte Gewässer durch Luftschadstoffe der UN-ECE (ICP-Waters) und damit die Möglichkeit der Analyse von Beziehungen zwischen terrestrischen und aquatischen Ökosystemen gegeben (BURKL et al. 2001, ALEWELL et al. 2000). Durch die Einrichtung von Grundwassermessstellen an allen dafür geeigneten

BDF-F und deren Einbindung in das Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN) werden ebenfalls die Auswirkungen von Prozessen in Waldökosystemen auf die Hydrosphäre erfasst.
Die BDF-F sind auch in das Programm der Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden (DBFL WS) eingebunden, in dem auf über 500 Flächen nach bundesweit harmonisierten Methoden der Kronenzustand und weitere Merkmale zur Vitalität der Waldbestände erfasst wird (DAMMANN et al. 2001). Weiterhin werden durch die Auswahl des Sollings als Probenahmegebiet für die Umweltprobenbank des Bundes wichtige Kompartimente der Waldökosysteme veränderungsfrei archiviert und so späteren Untersuchungen zugänglich gemacht (KLEIN et al. 1994). Besonders wichtig ist auch die Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Waldökosystem (FZW) der Universität Göttingen und Instituten verschiedener Universitäten. Ein Teil der BDF-F sind aus Fallstudien des FZW hervorgegangen und weiterhin dessen Hauptuntersuchungsgebiete (WIEDEY 1993). Die Untersuchungen im Rahmen des BDF-F- und des Level II-Programms stellen die nötige Plattform für verschiedenste Forschungsansätze bereit, während die universitäre Forschung das Know-how für innovative Fragestellungen und methodologische Ansätze liefert und somit das Umweltmonitoring fortlaufend weiterentwickelt werden kann (MEIWES & MEESENBURG 2001).

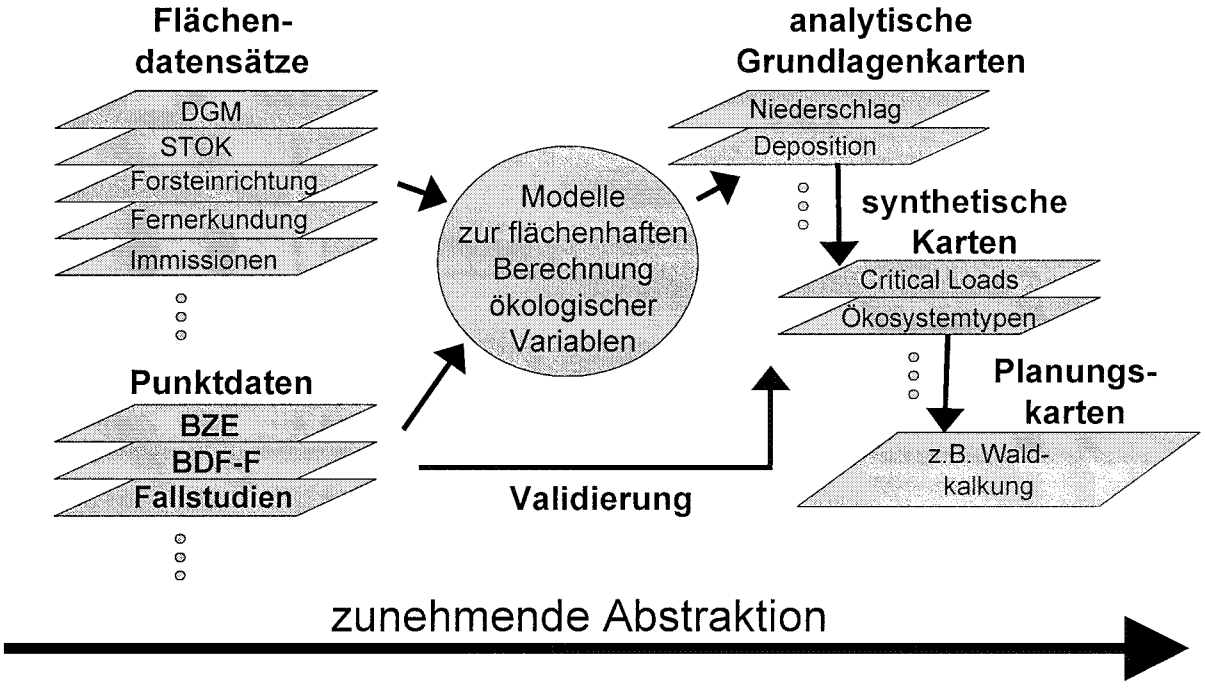


Abbildung 8: Die Rolle des forstlichen Umweltmonitorings bei der Regionalisierung von ökologischen Variablen (verändert nach ERNST 2002, DGM = digitales Geländemodell, STOK = Standortkartierung, BZE = Bodenzustandserhebung im Walde, BDF-F = forstliche Bodendauerbeobachtungsflächen).

Die Ergebnisse der Dauerbeobachtung fallen zunächst als Punktinformationen an. Sie lassen sich aber für Bodenschutzmaßnahmen nur einsetzen, wenn sie regionalisiert, d.h. in flächenhafte Information übertragen wird. Die regionale Integration ist bereits im Aufbau des forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen durch die Intensitätsstufen (Level) angelegt (Tab. 1). Durch die Verknüpfung dieser Daten mit Flächendatensätzen (z.B. forstliche Standortkatierung) und den Einsatz von Modellen zur flächenhaften Berechnung ökologischer Variablen (Regionalisierungsmodelle) können Flächendatensätze höherer Aggregationsstufe erzeugt werden (z.B. Depositionskarten, Critical Load-Karten, Abb.

8). Die Validierung der berechneten Karten erfolgt wiederum mit den Daten aus dem forstlichen Umweltmonitoring. Die Flächendatensätze müssen auch zur Ableitung von Karten genutzt werden, die für Plannungszwecke und für das forstliche Management eingesetzt werden können.
Der Nutzen langfristiger Umweltbeobachtung kann nur ausgeschöpft werden, wenn sie durch Qualitätssicherung und ein Datenmanagement begleitet wird, welches die integrative Auswertung aller Daten erlaubt. Methodenwechsel durch technischen Fortschritt, Personalwechsel oder Erweiterungen der Fragestellungen müssen über lange Zeiträume nachvollziehbar bleiben, damit Fehlinterpretationen und ein Verlust an Aussageschärfe vermieden werden (SCHULZE et al. 1999). Voraussetzung für die Auswertbarkeit von Langzeitmessungen ist eine lückenlose Dokumentation der Datenentstehung und -verarbeitung. Das komplexe Beziehungsgefüge aller Datenbereiche ist nur durch ein Datenmanagementkonzept handhabbar, das alle Teilinformationen integriert und in Beziehung setzt (SCHULZE & HOPPE 1997).

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die forstlichen Boden-Dauerbeobachtungsflächen haben sich 10 Jahre nach ihrer Einrichtung zusammen mit dem Level II-Programm zum Kern des forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen entwickelt. Dabei hat sich das Untersuchungsprogramm als geeignet erwiesen, Bodenveränderungen zeitnah nachzuweisen und somit als Frühwarnsystem zu fungieren. Als Kontrollinstrument dienen die BDF-F und Level II-Flächen zur Beurteilung der Wirksamkeit von umweltpolitischen Maßnahmen. Sie stellen eine Entscheidungshilfe für die Umweltgesetzgebung (z.B. Großfeuerungsanlagenverordnung, Benzin-Blei-Gesetze), für das forstliche Management bei Fragen zur Nachhaltigkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen und zur Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen dar. Der Waldökosystemforschung bieten sie eine Plattform für die Entwicklung neuer Forschungsansätze.
Diese Funktionen der Dauerbeobachtung können aber nur erfüllt werden, wenn weiterhin an einer verbesserten Methodenharmonisierung und Qualitätssicherung gearbeitet wird. Besondere Anforderungen sind hierbei an das Datenmanagement zu stellen, um jederzeit eine vollständige Nachvollziehbarkeit der Datenenstehung zu gewährleisten. Nur dann können auch verbesserte Konzepte für eine integrative Auswertung der Daten unter Einschluss aller Programmbereiche und angegliederter Monitoringprogramme entwickelt werden. Unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und umweltpolitischer Entwicklungen ist das BDF-F-Programm ständig weiterzuentwickeln, wobei die Kontinuität zur Fortführung langer Messreihen gewahrt bleiben muss. Wenn dies erreicht wird, stellen das BDF-F- und das Level II-Programm weiterhin wichtige Instrumente für den vorsorgenden Umweltschutz dar.

6 Literatur

ALEWELL, C., B. MANDERSCHEID, H. MEESENBURG, J. BITTERSOHL (2000): Is acidification still an ecological threat?- Nature 407: 856-857.

BARTH, N., W. BRANDTNER, E. Cordsen, T. Dann, K.-H. Emmerich, D. Feldhaus, B. Kleefisch, B. Schilling, J. Utermann (2002): Boden-Dauerbeobachtung: Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen.- Rosenkranz, D., G. Bachmann, W. König, G. Einsele (Hrsg.): Bodenschutz, 3. Bd. 9152: 1-127.

BÜTTNER, G. (1997): Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) in Niedersachsen 1990-1991.- Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt 122, 205 S.

BURKL, G., R. LEHMANN, B. KIFINGER, D. ROBRECHT, H. ZAHN (2002): Validierung von Critical Load-Überschreitungen mit Indikatoren des aktuellen Wirkungsgeschehens.- Abschlussbericht zum UBA-Forschungsprojekt FKZ 298 43 209, 148 S.

DAMMANN, I., T. HERRMANN, F. KÖRVER, H.W. SCHRÖCK, C. ZIEGLER (2002): Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden im Level II-Programm – Methoden und Ergebnisse der Kronenansprache seit 1983.- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), Bonn, 84 S.

DE VRIES, W., G.J. REINDS, H. VAN DOBBEN, D. DE ZWART, D. AAMLID, P. NEVILLE, M. POSCH, J. AUÉE, J.C.H. VOOGD, E.M. VEL (2002): Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 2002 technical report.- EC, UN-ECE 2002, Brussels, in Vorb.

ERNST, S.A. (2002): Methodologischer Wandel von Klimakarten.- Positionen Rundbrief 24, Verband Baden-Württembergischer Wissenschaftlerinnen: 40-43.

GAUGER, T., R. KÖBLE, F. ANSHELM (1994): Kritische Luftschadstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme, Teil 1: Deposition Loads.- Endbericht 297 85 079 Inst. f. Navigation Univ. Stuttgart: 139 S.

ICP-FORESTS (2001): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests.- United Nations Economic Commission for Europe, Convention on long-range transboundary air pollution, International Co-operative Programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests, http://www.icp-forests.org.

KLEIN, R., M. PAULUS, G. WAGNER, P. MÜLLER (1994): Biomonitoring und Umweltprobenbank: I. Das ökologische Rahmenkonzept zur Qualitätssicherung in der Umweltprobenbank des Bundes.- UWSF Z. Umweltchem. Ökotox. 6: 223-231.

MEESENBURG, H., K.J. MEIWES, H. BARTENS (1999): Veränderung der Elementvorräte im Boden von Buchen- und Fichtenökosystemen im Solling.- Ber. Freiburger Forstl. Forschung 7: 109-114.

MEESENBURG, H., K.J. MEIWES, P. RADEMACHER (1995): Long-term trend of atmospheric deposition and seepage output at Northwest German forest ecosystems.- Water Air Soil Poll. 85: 611-616.

MEESENBURG, H., K.J. MEIWES, A. SCHULZE, P. RADEMACHER (1997): Bodendauerbeobachtungsflächen auf forstlich genutzten Böden.- Arbeitshefte Boden 2/1997: 77-93.

MEIWES, K.J., H. MEESENBURG (2001): Nutzung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen für Fragen der Waldökosystemforschung und der forstlichen Praxis.- Kurzfassungen Fachtagung 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen: 15 – 1-15 – 3.

MEIWES, K.J., H. MEESENBURG, H. BARTENS, P. RADEMACHER, P.K. KHANNA (2002): Akkumulation des Auflagehumus im Solling – mögliche Ursachen und Bedeutung für den Nährstoffkreislauf.- Forst und Holz, zur Veröff. angen.

RADEMACHER, P., H. MEESENBURG, B. MÜLLER-USING (2001): Nährstoffkreisläufe in einem Eichenwald-Ökosystem des nordwestdeutschen Pleistozäns.- Forstarchiv 72: 43-54.

SCHULZE, A., J. EVERS, J. HOPPE, S. RUMPF, K.J. MEIWES. (1999): Zur Anwendung des Nachhaltigkeitsprinzips im forstlichen Datenmanagement.- Forstarchiv 70: 28-36.

SCHULZE, A., J. HOPPE (1997): Qualitätssicherung bei der Bilanzierung von Stoff- und Wasserflüssen in Waldökosystemen durch datenbankgestützte Arbeitsorganisation.- Geiger, W. et al. (Hrsg.). Umweltinformatik '97. 11. Int. Symp. Umweltinformatik Strasbourg 1997. Umwelt-Informatik aktuell 15: 216-224.

ULRICH, B. (1993): 25 Jahre Ökosystem- und Waldschadensforschung im Solling: Stand und Ausblick.- Forstarchiv 64: 147-152.

ULRICH, B., R. MAYER (1973): Systemanalyse des Bioelement-Haushalts von Wald-Ökosystemen.- Ellenberg, H. (Hrsg.): Ökosystemforschung, Springer, Berlin, 165-174.

ULRICH, B., R. MAYER, P.K. KHANNA (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling.- Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt 58, 291 S.

ULRICH, B. (1994): Nutrient and acid/base budget of central European forest ecosystems.- Hüttermann, A.; Godbold, D.L. (Hrsg.): Effects of acid rain on forest processes. New York, Wiley: 1-50.

VAN GRINSVEN, H.J.M. (Hrsg.) (1995): Modelling water, carbon and nutrient cycles in Forests: application of 16 simulation models to a spruce stand at Solling, Germany.- Ecol. Modell. 83: 1-293.

WIEDEY, G.A. (1993): Das Forschungszentrum Waldökosysteme (FZW).- Forstarchiv 64: 152-153.

Konzeption und Auswerteziele der Bodendauerbeobachtung in NRW unter besonderer Berücksichtigung prioritärer Fragestellungen

Metzger, F.
Landesumweltamt NRW, Wallneyer Str. 6, 45133 Essen

Abstract:
The aim of the concept of permanent soil observation (Bodendauerbeobachtung) in North Rhine Westphalia (NRW) is to function as an early warning system. It is designed to inform about pollution related changes in soil before intolerable changes or irreversible losses in soil functions can take place. The permanent soil observation in NRW peruses temporal trends of soil contamination by measurements of persistent compounds, as well as acidic substances.

Zusammenfassung:
Das Konzept der Bodendauerbeobachtung in NRW (BDF NRW) verfolgt das Ziel, über belastungsbedingte Bodenänderungen zu informieren, bevor intolerable Einbrüche der Bodenqualität bzw. irreverrible Verluste von Bodenfunktionen entstehen. Die Bodendauerbeobachtung in NRW verfolgt relevante Trends der Bodenkontamination durch persistente Stoffe und der Bodenversauerung.

1. Einleitung und Problemstellung

Die Verwitterung unterschiedlicher Gesteinsmaterialien unter verschiedenen Klimaten und Vegetationsformen sowie sekundäre Umlagerungen prägen die Verteilung von Bodenformen sehr unterschiedlicher Eigenschaften. Böden erwiesen sich bisher gegenüber anthropogenen Belastungen in unterschiedlichem Maße resistent bzw. störempfindlich. Fraglich ist für welche Böden irreversible Minderungen ihrer Leistungen als Sickerwasserfilter und Pflanzenstandort bereits eintraten und noch bevorstehen oder nach Entlastung regenerative Prozesse schon wieder überwiegen.

Die Umweltverwaltung in NRW stellte sich diesem Problem schon sehr früh mit

- Bodenuntersuchungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung der ersten Generation seit Ende der 70er Jahre,
- Mit Schwerpunktuntersuchungen im Rahmen der Ursachenklärung „Neuartiger Waldschäden" zusammen mit der Landesanstalt für Ökologie in NRW seit Beginn der 80er Jahre und
- durch Beteiligung an der Konzeptdiskussion bzgl. der Bodendauerbeobachtung im entsprechenden Bund-Länderarbeitskreis und Diskussion der NRW-spezifischen, an den Belastungssituationen in NRW orientierten Umsetzung des bundesweit vorgeschlagenen Konzeptes seit Anfang der 90er Jahre.

2. Anlass der „Bodendauerbeobachtung" und Konzeptentwicklung in Bund-Länderarbeitskreisen

Die Umweltminister des Bundes und der Länder hielten angesichts einer „Häufung von Berichten über nachhaltig wirksame Minderungen der Bodenqualität durch belastende Wirkungen von Stoffeinträgen unter dem sich aufdrängenden Verdacht zunehmender Risiken

für Bodennutzer" eine entscheidende Verbesserung der Informationsgrundlagen über den Boden für vordringlich, um die vielfältigen, im Bodenschutz notwendigen Entscheidungen treffen zu können" (Umweltministerkonferenz vom 24.04.1985).

In der Folge wurde die Schaffung einer geeigneten Datenbasis in Form zwischen den Ländern abgestimmter Boden-Informationssysteme (BIS) gefordert. Eine wesentliche Datenquelle dieser BIS sollte die Bodenauerbeobachtung sein. Ein entsprechendes „Konzept zur bodenkundlichen Dauerbeobachtung als Teil eines Umweltmonitorings" veröffentlichte 1991 die Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz (SAG BIS 1991). Eine ad hoc AG der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) griff das Anliegen eines bundeseinheitlichen Vorgehens noch einmal auf und schlägt dabei mehr obligatorisch anzuwendende Einrichtungs- und Untersuchungsverfahren vor (LABO-AG 2000). NRW hat dem Rechnung getragen und die Bodendauerbeobachtung rechtlich im Landes-Bodenschutzgesetz LBodSchuG NRW in §6 (3) (Gesetz und Verordnungsblatt NRW, 54.Jg. Nr. 29. S. 439 vom 09.05.2000) verankert.

3. Abgrenzung der Bodendauerbeobachtung in NRW (BDF NRW) vom SAG-Konzept

Von dem bis heute in Bund-Länderarbeitkreisen entwickelten bundeseinheitlichen Konzept der Boden-Dauerbeobachtung (SAG BIS 1991 und LABO-AG 2000) werden die wesentlichen Ziele dieser Konzepte bei der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen in NRW hinsichtlich eines Bodenzustandsmonitoring übernommen:

- die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden (an exemplarisch ausgewählten und die Hauptbodeneinheiten der Bodenkarte 1:50000 berücksichtigenden Standorten)
- die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und
- die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung.

Die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden mittels Bodenuntersuchungen erfolgt auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen in NRW somit nicht wie im SAG-Konzept 1991 vorgeschlagen repräsentativ für alle Landschaften, Böden, Nutzungen und Belastungen über alle Maßstäbe und Graduierungen der Bodeneigenschaften und Belastungen, weil entsprechende Daten zur Beschreibung der Istzustände von Böden in NRW in umfangreichem Maße schon vorliegen.

Dies ist in erster Linie die flächendeckende Bodenkarte im Maßstab 1:50000 mit laboranalytischer Kennzeichnung der Hauptbodeneinheiten. Darüberhinaus sind es Daten zur Kennzeichnung der Bodenbelastung, die z.B. im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalteplänen an Rhein und Ruhr seit den 70er Jahren erhoben und in das „Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung" im Bodeninformationssysten des NRW eingestellt wurden. Hinzu kommen in NRW die Daten zur Bodenzustandserfassung an ca. 500 Waldstandorten. BDF in NRW sind deshalb in der Hauptsache kein Instrument der landschafts- und bodenrepräsentativen bodenkundlichen Landesaufnahme zur „Beschreibung des aktuellen Zustandes der (aller!) Böden" in NRW.

Als Entscheidungskriterien für die Auswahl von BDF in NRW stehen die jeweils zu erwartenden externen Belastungen und die entsprechende Belastungssensibilität von Böden im Vordergrund. Nach der Frage der Relevanz von Belastungen stellt sich hier allerdings die Frage der Repräsentanz der Böden hinsichtlich ihrer Reaktion auf derartige Belastungen.

Das Auswahlverfahren für BDF und das Vorgehen bei der Untersuchung muß in jedem Fall das a priori Wissen sowohl hinsichtlich der Funktionen von Böden, als auch deren Belastbarkeit und der zukünftigen noch zu erwartenden Belastung nutzen.

Landwirtschaftliche Belastungsszenarien sind nicht Gegenstand der Bodendauerbeobachtung in NRW, werden aber im Rahmen der landwirtschaftlichen Beratung kontrolliert und in Ergänzung vorhandenen Wissens im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Umwelt- und Standortgerechte Landwirtschaft" untersucht.

3.1 Ziele der Bodendauerbeobachtung in NRW

Das Konzept BDF NRW verfolgt das Ziel, über belastungsbedingte Bodenänderungen zu informieren, bevor intolerable Einbrüche der Bodenqualität bzw. irreverrible Verluste von Bodenfunktionen entstehen.
Die Untersuchungen an den BDF-NRW sollen Wirkungen von Schadstoffeinträgen auf die Böden sichtbar machen, wo persistente Schadstoffe nicht *(wie z.B. in der Landwirtschaft mit Düngern, Klärschlämmen, Komposten oder PSM)* kontrolliertbar dosiert oder über die Deposition (sicher) bestimmt werden können, sich jedoch in Böden anreichern *(z.B. Dioxine und Furane aber auch Schwermetalle bzgl. der nicht vollständigen Erfassung der Gesamtdeposition i.R. von Immissionsmessungen)* oder in Böden Folgeprozesse *(Reaktionen)* auslösen, die aus Eintragsdaten nicht prognostiziert werden können *(z.B. Aluminium-Freisetzung bei Protoneneintrag und pH-Werten <3)*. Aus Erfahrung und aufgrund theoretischer Überlegungen, so berichten Schweigle 1991, Schilling 1994 und Prinz 1994 sollten BDF mit Vorrang in Regionen angelegt werden, wo mit höheren Schadstoffeinträgen gerechnet werden muss und die Chance besteht, gegen die messfehlerbedingte Wertevariation gesicherte Trends der Bodenqualität nachweisen zu können bevor nachteilige Wirkungen eintreten und wo aus der Boden-Dauerbeobachtung diesbezüglich noch entscheidungsrelevante Daten über Qualitätsverluste zu erwarten sind.
Daher wurden BDF an insgesamt 14 Waldflächen und 6 Fächen einschließlich Referenzstellen unter Grünland und Parknutzung angelegt. Die BDF-Standorte wurden zum einen industrienah oder im Lee des Ballungsraums Rhein-Ruhr eingerichtet. Die Grünland und Parkflächen liegen entweder in Städten mit besonderer industrieller Dichte oder in Gebieten mit ubiquitärer Belastung als Referenzstandorte.

4. Auswahl der Standorte der "Bodendauerbeobachtung"

Höhere Zuwächse der Gehalte persistenter Stoffe in Böden sind nach vorliegenden Niederschlagsdaten (Anonym 1997) nur noch an wenigen Belastungsschwerpunkten zu erwarten. Relevante Belastungen der Böden alleine durch derzeitige Blei-, Kadmium- und Thalliumniederschläge wären nach einer 100-jährigen Einwirkungsdauer nach Depositionswerten der bisherigen TA-Luft in unter 5% des untersuchten Belastungsgebiets von 230 km² zu erwarten (Abb.1 in der Anlage). Nach den z.B. bei Blei von 250 auf 100 µg/m² *d und Cadmium von 5 auf 2 µg/m² *d abgesenkten Depositionswerten der aktuellen TA-Luft erhöht sich dieser %-Anteil allerdings deutlich. Entsprechende Vorbelastungen der Böden verkürzen diese "tolerierbare" Einwirkungsdauer in Abhängigkeit von der Schwermetallmobilität und der Bodennutzung. Da umfassende in NRW getroffene Minderungsmaßnahmen an diesen Belastungsschwerpunkten seit einiger Zeit greifen, dienen

die 4 hier eingerichteten BDF zusammen mit dem flächendeckenden Niederschlagsmeßnetz weitgehend alleine der Erfolgskontrolle.

Wie sich Säureeinträge in Waldböden auswirken hängt wesentlich von den Reaktionen mit den bodeninternen Puffersystemen ab und läßt sich nicht wie bei persistenten Stoffen über die Mischungsrechnung abschätzen. Dementsprechend wurde bisher an 14 Forststandorten mit Böden sehr unterschiedlicher Basenvorräte BDF eingerichtet. Die Folgen Des Säureeintrags in Waldböden werden in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF NRW) u.a. über folgende Parameter erfaßt 1. der Sickerraten von Basen, an ausgewählten Standorten, die wegen der jahreszeitlichen Gänge mit hoher zeitlicher Auflösung gemessen werden müssen, 2. der Zusammensetzung der mit der Bodenlösung korrespondierenden Austauschkationen und 3. der Komponenten des Bodenmineralbestandes die Basen in unterschiedlichen Raten nachliefern sowie Schwermetalle. Insbesondere die Entwicklung der Tonmineralbestände bis hin zu labilen Formen düfte hier ein sensibler Anzeiger für Trends der Versauerung von Böden sein (Niederbudde, 1996). Mit Hilfe vorliegender Daten kann die Gültigkeit und Übertragbarkeit von Modellen überprüft werden, mit denen die Basenfreisetzung aus Bodenmineralen prognostiziert und dementsprechend bodenverträgliche Säureeintragsraten abgeleitet werden können (Fichter, u.a. 1998).

5. Auswertung und weiteres Vorgehen

Die Auswertung der bisher erhobenen Daten gilt der Zustandsbeschreibung der Böden als Pflanzenstandort, der Sicherung von Meßwertdifferenzen und von Trends noch im Vorsorgebereich, sowie der Bestimmung des jeweiligen Untersuchungsturnus (Schweigle, 1991, Schilling 1994). Beim weiteren Vorgehen ist unter den Gesichtspunkten der Relevanz und der Repräsentanz die Notwendigkeit weiterer BDF und weiterer Parameter zu prüfen. Hierzu können unter anderem Ergebnisse der Bodenuntersuchungen an 500 Meßstellen der Bodenzustandserfassung im Wald (BZE) NRW bzw. der im Rahmen von ICP-Forest an den Level II – Standorten gewonnenen Daten herangezogen werden.

Literatur:

Anonym (1997): Luftreinhalteplanung in Nordrhein-Westfalen, Auswertung und Darstellung der Luftreinhalteplanuntersuchungen in Duisburg
Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Barth, Natalja u.a. (ad hoc AG d. LABO), (2000): Bodendauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen, Hrsg. Rosenkranz u.a., Ergänzbares Handbuch Nr.9152

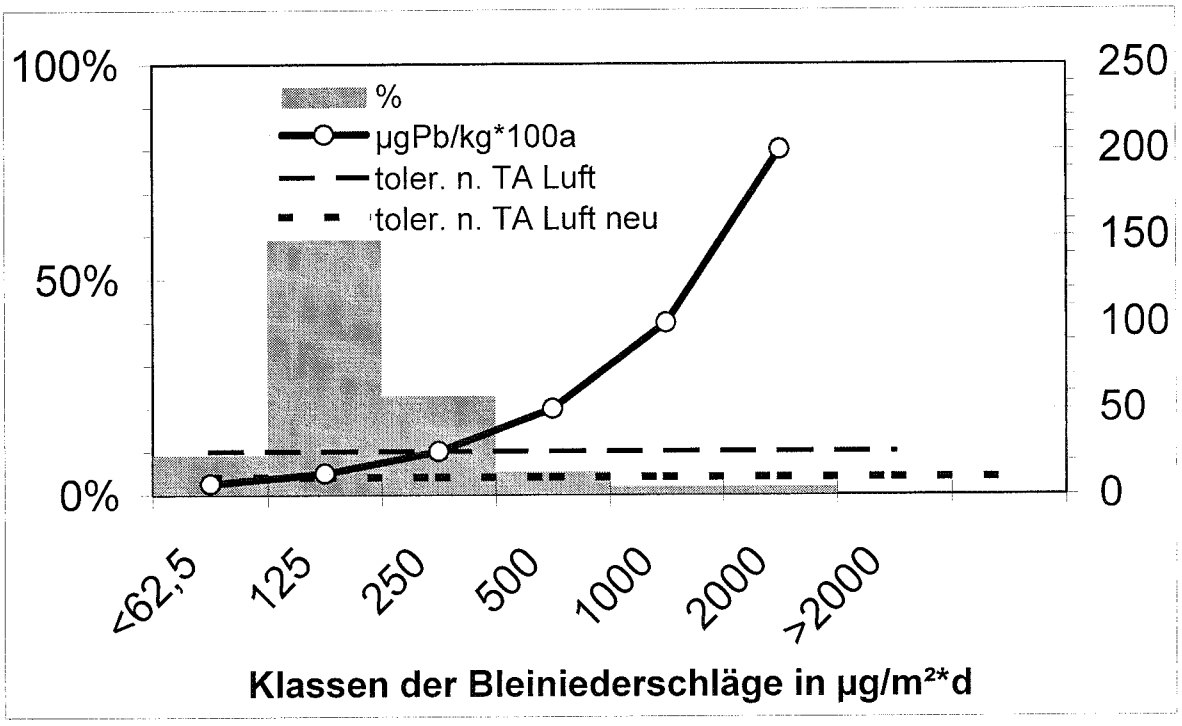
Bundesministerium für Landwirtschaft BML(1990): Bundesweite Bodenzustandserfassung im Walde (BZE), Arbeitsanleitung, BML Bonn, 147 S.

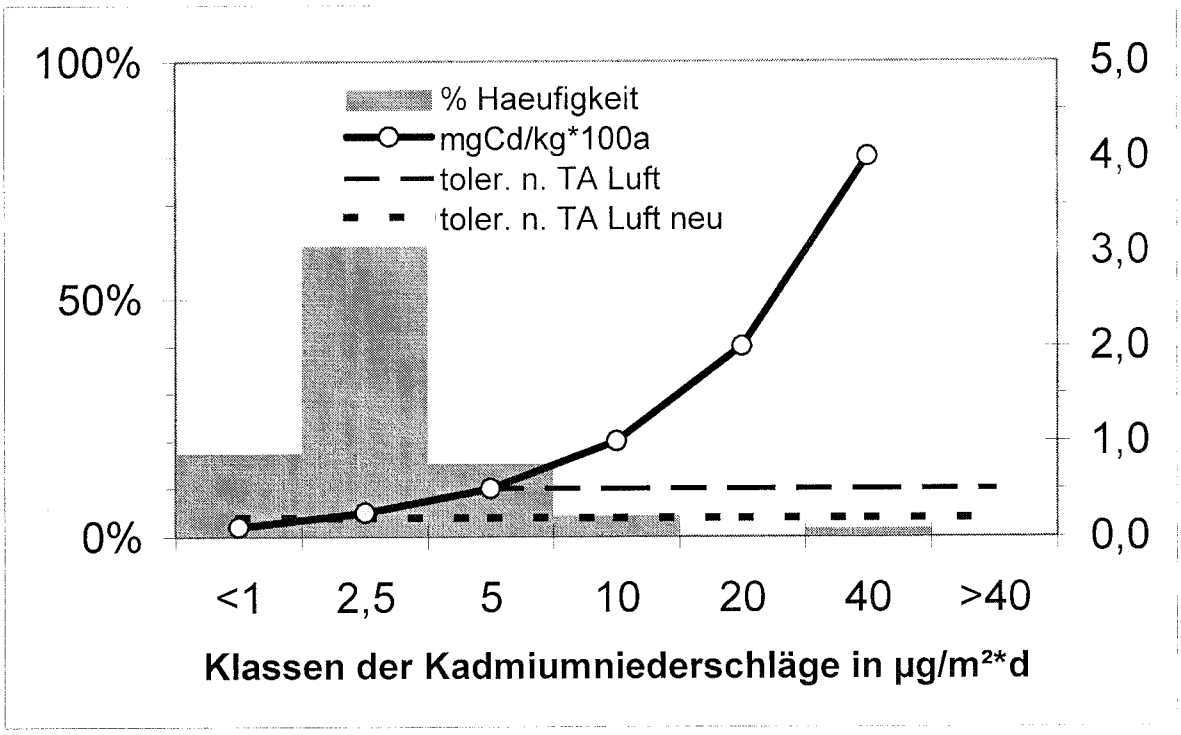
Fichter, J., P. Bonnaud, M.-P. Turpault and J. Ranger (1998): Quantitative Determination of Minerals in Acid Forest Soils of Granite. Z. Pflanzenernähr.Bodenk. 161:129-139

Niederbudde, E.-A. (1996): Böden als Naturkörper, "Tonminerale", Kapitel 2.1.4.1 im Handbuch der Bodenkunde, ecomed Verlag, D-86899 Landsberg.

Prinz, (1994): „Überlegungen zum Konzept der Bodendauerbeobachtungsflächen", Vortrag im Rahmen der Sitzung des AK-BDF NRW am 02.03.1994. unveröffentlicht

SAG BIS (1991): "Konzeption zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen" (BDF), Ausarbeitung der Sonderarbeitsgruppe "Informationsgrundlagen Bodenschutz" (SAG) der Umweltministerkonferenz.
Hrsg.: SAG (s.o.), Federführende Institution: Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Rosenkavalierplatz 2, 81925 München.
Schilling, B. (1994): Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes, Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen, GLA-Fachberichte 11, Herausgeber und Verlag: Bayerisches Geologisches Landesamt, München
Schweigle, V. (1991): Bemessung von Meßintervallen für Dauerbeobachtungsflächen in Boden-Meßnetzen. Z. Pflanzenernähr.Bodenk. 154:225-226





1) Anreicherung im Boden berechnet für 365 kg Boden TM / m² (entspr. ca. 25cm Bearbeitungstiefe)
2) Nicht berücksichtigt wurden Verlagerungsprozesse mit der Folge der Verteilung und Verdünnung und die (unbekannte) Differenz zwischen mittels Bergerhoff - Verfahren erfassten Niederschlägen und höher erwarteten realen Einträgen in Böden

Abb.:1 Verteilung (Schwer-)metallniederschläge (µg/m²*d) in 230 1km²-Flächen in Duisburg und der daraus für 100 Jahre berechneten Schwermetall-anreicherungen in mg Schwermetall/kg Boden.

Betrieb von BDF und Untersuchungsschwerpunkte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern

Müller Ch. [1], Henkelmann G. [2]
Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
[1] Vöttingerstr. 38, 85354 Freising; [2] Menzingerstr. 54, 80638 München
e-mail: christa.mueller@lbp.bayern.de; guenter.henkelmann@lbp.bayern.de

Abstract:

Since 1985 the Bavarian state has established a soil-monitoring-programm (BDF) for the investigation of soils in the agricultural practice. So the radiocesium (Cs 134 and Cs 137) and the heavy metals lead and copper became for instance a good example for this monitoring. This programm proved to be a useful tool for the longlasting control of the soils and is an evident task for the environment and the production of healthy food in the whole area.

Zusammenfassung:

In Bayern wurde Jahr 1985 auf Flächen unterschiedlicher Nutzung mit der Einrichtung eines landesweiten Netzes von Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) begonnen. Diese stellen ein wichtiges Instrument zur langfristigen Überwachung der Böden dar. Am Beispiel der Radionuklide Cäsium 134 und Cäsium 137 und der Schwermetalle Blei und Kupfer wird gezeigt, dass dieses Monitoring ein unverzichtbarer Bestandteil zur Erhaltung der Lebensgrundlagen und der Produktion gesunder Nahrungsmittel ist.

Keywords: soil monitoring, environmental radioactivity, radiocesium, heavy metal, farm yard manure
Schlagworte: Bodenmonitoring, Umweltradioaktivität, Radiocäsium, Schwermetalle, Wirtschaftsdünger

1. Einleitung – Betrieb der BDF

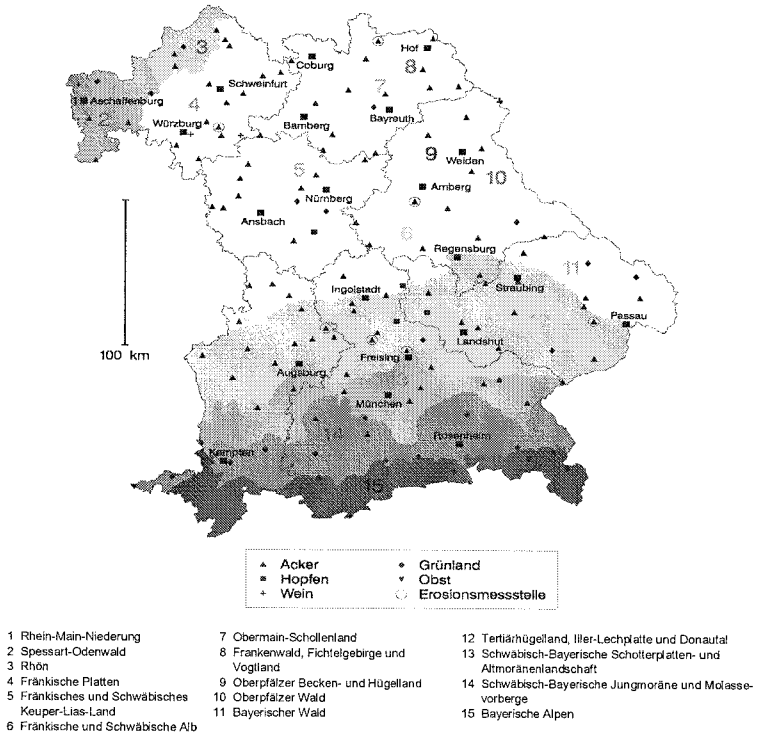
Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz wurden der vorsorgende Bodenschutz und die nachhaltige Nutzung von Böden gesetzlich verankert. Die Umsetzung erfordert sowohl Kenntnisse zum Ist-Zustand von Böden als auch Daten, die Rückschlüsse auf Veränderungen von Stoffgehalten und Bodenfunktionen erlauben. Im Bayerischen Bodenschutzgesetz wurde die Führung eines Bodeninformationssystems festgeschrieben (BayBodSchG Art. 7-9, 23.02.1999).

In Bayern wurde bereits 1985 auf Flächen unterschiedlicher Nutzung mit der Einrichtung eines landesweiten Netzes von Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) begonnen. Bayern hatte damit als erstes Bundesland die Initiative für einen vorbeugenden Bodenschutz ergriffen und auf die Empfehlungen der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (1985) unmittelbar reagiert.

Hinsichtlich Konzeption und Durchführung der Untersuchungen wurde eine nutzungsspezifische Aufteilung des BDF-Programms vorgenommen:

- Landwirtschaft: 133 BDF: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
- Forstwirtschaft: 77 BDF: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- Sonderstandorte: 61 BDF: Bayerisches Geologisches Landesamt.

Nach Typisierung der ad hoc AG BDF der LABO (BARTH ET AL. (2000)) sind 22 Wald-BDF und 4 BDF auf Sonderstandorten Intensiv-BDF mit Merkmals- und Prozessdokumentation, die übrigen sind Basis-BDF.



1 Rhein-Main-Niederung
2 Spessart-Odenwald
3 Rhön
4 Fränkische Platten
5 Fränkisches und Schwäbisches Keuper-Lias-Land
6 Fränkische und Schwäbische Alb
7 Obermain-Schollenland
8 Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland
9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland
10 Oberpfälzer Wald
11 Bayerischer Wald
12 Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal
13 Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft
14 Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molasse-vorberge
15 Bayerische Alpen

Abbildung 1: Standorte der landwirtschaftlich genutzten BDF in Bayern
(Grundlage: standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern)

Die landwirtschaftlich genutzten BDF nehmen eine Zwischenstellung zwischen Basis- und Intensiv-BDF ein. Kernfrage auf landwirtschaftlich genutzten BDF ist, welchen Belastungen die Böden durch Stoffeinträge aus der Atmosphäre und durch Einträge aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ausgesetzt sind.
Die Merkmalsdokumentation beinhaltet Erhebungen im mehrjährigen Turnus zum Stoffbestand des Bodens, dem Bodengefüge, der organischen Bodensubstanz, den Bodenorganismen und der Vegetation. Aufgrund der regelmäßigen Durchmischung der Krume können Stoffeinträge auf Ackerflächen nur langfristig durch periodische Bodenuntersuchungen nachgewiesen werden. Auf landwirtschaftlich genutzten BDF werden daher zusätzlich die Stoffeinträge durch verschiedene Eintragspfade (Luft, Mineral-, Wirtschaftsdünger, Pflanzenschutzmittel) gesondert erfasst.

Seit dem kerntechnischen Unfall von Tschernobyl im Jahre 1986 sind die bayerischen BDF in die Messungen zur Umweltradioaktivität im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes eingebunden. Das Radionuklid-Monitoring wird gemäss Bundes- und Landesmessprogramm durchgeführt. Diese Messprogramme geben einen umfassenden Überblick über Einträge, Verbleib und Verlagerung von Radionukliden in der Umwelt sowie über deren Transfer in die Nahrungskette.
Gemessen werden im alljährlichen Routinebetrieb unter anderem die Nuklide Cäsium 137, Cäsium 134, Kobalt 60, Kalium 40, Iod 131 und Ruthen 106, Strontium 90, Uran 235, Plutonium 238, Curium 242 und Americium 241.

2. Material und Methoden

Flächenauswahl

Die Auswahl der landwirtschaftlich genutzten BDF erfolgte nach der standortkundlichen Landschaftsgliederung und der regional typischen Nutzung (Acker, Grünland, Sonderkulturen) schwerpunktmäßig auf landwirtschaftlichen Praxisbetrieben und Staatsgütern.

Probenahme

Immissionen: *Nasse und trockene Freilanddeposition mittels Bulk-Sammler* (Bergerhoff-Verfahren, VDI 2119 BL 2), 2 Sammler je BDF

Schwermetalle

Wirtschaftsdünger: BDF-Betriebe mit Tierhaltung (BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990))

Immissionen: 12 Monats-Mischproben wegen sehr geringer Feststoffmengen und Konzentrationen (MÜLLER C. (1997b))

Radionuklide

Die Probenahme der Boden-, Pflanzen- und Wirtschaftsdüngerproben wurde gemäss den „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus Kerntechnischen Anlagen", BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2000) und HAISCH A., MAYER J., HENKELMANN G. (2000) durchgeführt.

Analytik

Schwermetalle

Immissionen: Eindampfrückstand HNO_3-Aufschluss, trockene Veraschung des Rückstandes bei 500°C, Entfernen des Silikats durch Abrauchen mit Flusssäure (MÜLLER C. (1997b))

Wirtschaftsdünger: Königswasser-Aufschluss (MÜLLER C. (1997b))

Radionuklide

Gammaspektrometrische Untersuchung der Immissions-, Boden-, Pflanzen- und Gülleproben (s.a. HENKELMANN G. (1999b)) erfolgte nach Trocknung gemäss den „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (Zitat siehe Probenahme Radioaktivität), und auf Gammaspektrometern und Germaniumdetektoren der Fa. Canberra, Rüsselsheim. Die Auswertung erfolgte mit der Software Genie PC.

3. Ergebnisse und Diskussion

Untersuchungsschwerpunkt des BDF-Programms ist die stoffliche Belastung der Böden und ihre Beeinflussung durch Stoffeinträge aus der Luft und durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung.
Beispielhaft werden dargestellt:

- die Auswirkungen des Kernkraftwerkunfalls von Tschernobyl 1986 auf die Radiocäsiumbelastung von landwirtschaftlich genutzten Böden und Wirtschaftsdünger,
- die Entwicklung der Blei-Einträge,
- die Veränderung der Kupfergehalte in Schweinegülle.

3.1 Der kerntechnische Unfall in Tschernobyl und die Folgen

Beim Unfall im Kernkraftwerk Block IV in Tschernobyl am 26. April 1986 geriet die Kettenreaktion im Reaktorkern außer Kontrolle. Nach einer Explosion und dem darauffolgenden Brand verdampften 6,7 t des Reaktorbrennstoffes, die in die untere Troposphäre (700-1500 m) verfrachtet wurden. Die Gewitterwolken aus Tschernobyl regneten am 31. Mai und 1. April 1986 ihre radioaktive Last über weite Bereiche Bayerns ab. Sie kamen von Nordosten und zogen nach Südwesten weiter. In Südbayern wurden in manchen Gebieten mehr als 400 000 Bq je Quadratmeter abgeregnet (LENGFELDER (1988) und BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1987) und HENKELMANN G. (1999a)). Die folgende Abbildung zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen Nuklide in den Niederschlägen im Mai 1986.

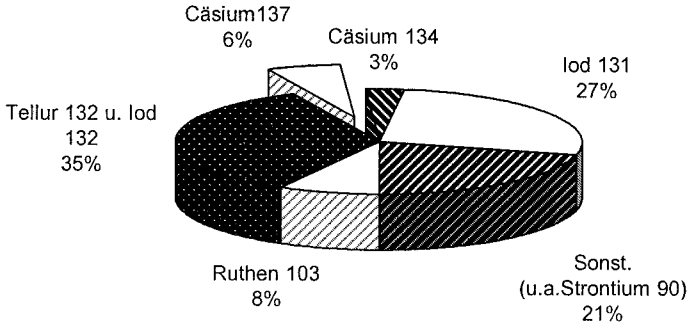


Abbildung 2: Mittlere prozentuale Zusammensetzung der Radionuklide, die 1986 im Raum München niedergegangen sind (HAISCH A., MAYER J., HENKELMANN G. (2000)).

3.2 Immissionen von Radiocäsium und Gehalte im Boden

3.2.1 Situation 1986

Ein Jahr vor Tschernobyl war von der LBP das BDF-Programm mit 133 im Lande verteilten landwirtschaftlich genutzten Flächen eingerichtet worden.
Abbildung 3 zeigt die in den einzelnen Regierungsbezirken gemessenen Immissionen an Cs 137 und Cs 134. Die wichtigsten untersuchten Nuklide waren Cäsium 137, Cäsium 134 und Strontium 90. Die Halbwertszeit für Cs 134 liegt bei 2 Jahren, für Cs 137 und Sr 90 bei etwa 30 Jahren.
Hinzu kamen die übrigen Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit, die aus der Sicht des Bodenschutzes wegen ihrem raschen physikalischen Zerfall von untergeordneter Bedeutung sind.

Da im südbayerischen Raum die Ablagerung von Cäsium 137 etwa 6% der Gesamtradioaktivität betrug, kann man rechnerisch von einer zusätzlichen Deposition von etwa 24 000 Bq/m^2 Cäsium 137 ausgehen (ca. 160 Bq/kg Boden). Dies entspricht in etwa einer Verzehnfachung der Messergebnisse von vor Tschernobyl (HAISCH A., MAYER J., HENKELMANN G. (2000)).

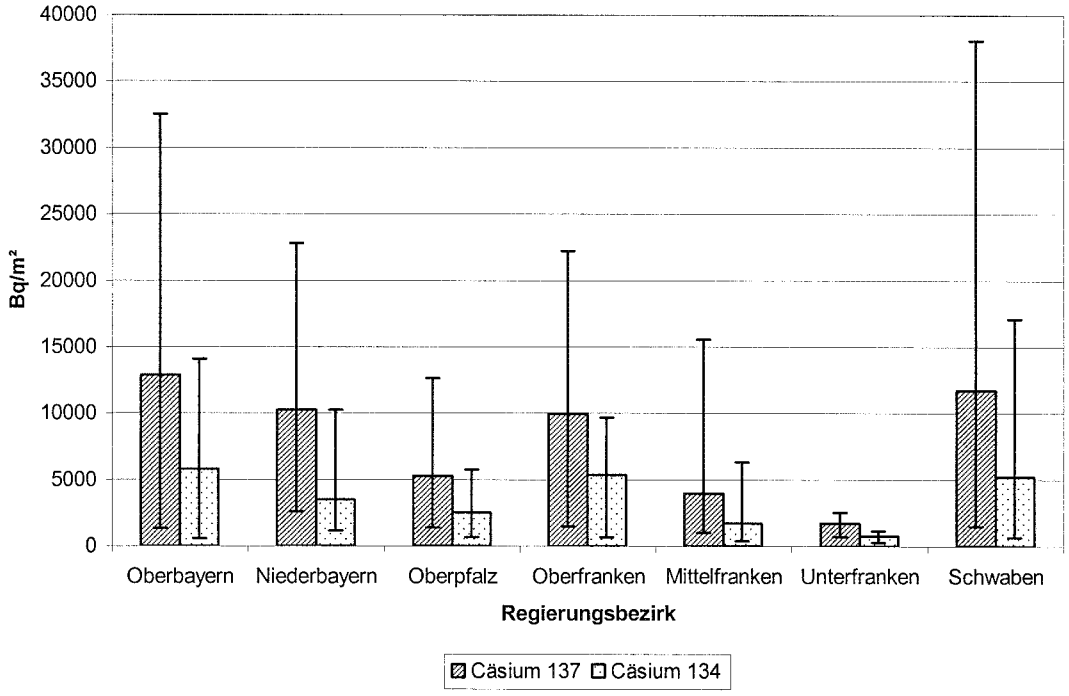


Abbildung 3: Immissionen von Cs 137 und Cs 134 im Mai 1986 in den einzelnen Regierungsbezirken Bayerns (Medianwerte, Minima und Maxima in Bq/m²)

Die aus den Kernwaffenfallouts der 60er Jahre stammende Hintergrundkontamination lag im Boden im Bereich von etwa 5 bis 25 Bq/kg Boden. Auch Strontium 90 wurde in erheblichem Umfang aus Tschernobyl mit dem Wind verfrachtet. Untersuchungen der Böden nach dem Mai 1986 ergaben aber in Bayern nur einen geringen Anstieg der Strontium 90-Gehalte gegenüber den Werten vor Tschernobyl, die dem Kernwaffen-Fallout entstammten.

3.2.2 Radiocäsium-Gehalte im Boden – Situation 2001

Alljährlich werden Böden aus ganz Bayern repräsentativ beprobt, um im Rahmen des Bodenmonitorings eine Vorstellung über die radioaktive Kontamination der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern zu erhalten. Der Medianwert mit Cs 137 liegt z. Zt. bei Grünlandböden (0-10 cm) in Südbayern bei 144 Bq/kg Boden Trockensubstanz (TS), in Nordbayern bei 32 Bq/kg TS. Die Ackerböden der untersuchten Flächen haben eine etwas geringere Belastung mit Cäsium 137. Sie liegt in Südbayern bei 38 Bq/kg Boden TS in der Krume, in Nordbayern bei 16 Bq/kg TS.
Diese geringere Belastung der Ackerflächen gegenüber den Grünlandflächen ist auf die langjährige Vermischung der Bodenschichten durch die Bodenbearbeitung zurückzuführen. Dabei gibt es aber regional sehr große Unterschiede. Die Kontamination der Ernteprodukte ist durch die feste Sorption des Radiocäsiums im Boden und den geringen Transfer in die Pflanze relativ gering.
Anders sieht es bei Waldböden und auf moorigen Standorten aus. Auf diesen Standorten bleibt das Cäsium in der obersten Bodenschicht konzentriert. Die Pflanzenaufnahme d.h. der Transfer in die Pflanzen und Pilze ist stark erhöht. Im Wald sind vor allem die Pilze, Beeren und Kräuter, und in der Folge auch die Wildtiere höher belastet.

Von den radioaktiven Stoffen (Nukliden) sind rechnerisch heute insgesamt noch etwa 50 % der zusätzlichen Deposition von Cäsium 137 und Strontium 90 aus dem Jahre 1986 auf bayerischen Böden vorhanden.
Daher ist es aus der Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes und der nachhaltigen Nutzung von landwirtschaftlichen Böden noch immer geboten, im Rahmen der Boden–Dauerbeobachtung die Böden sowie die Futter- und Lebensmittel auf Radionuklidbelastungen zu untersuchen.

3.3 Radiocäsiumgehalte in Wirtschaftsdüngern

Nach dem Fallout von Tschernobyl wies das wirtschaftseigene Futter eine erhöhte Radioaktivität auf, die mit den Exkrementen weitgehend ausgeschieden und im Wirtschaftskreislauf wieder auf die Felder ausgebracht wurde.

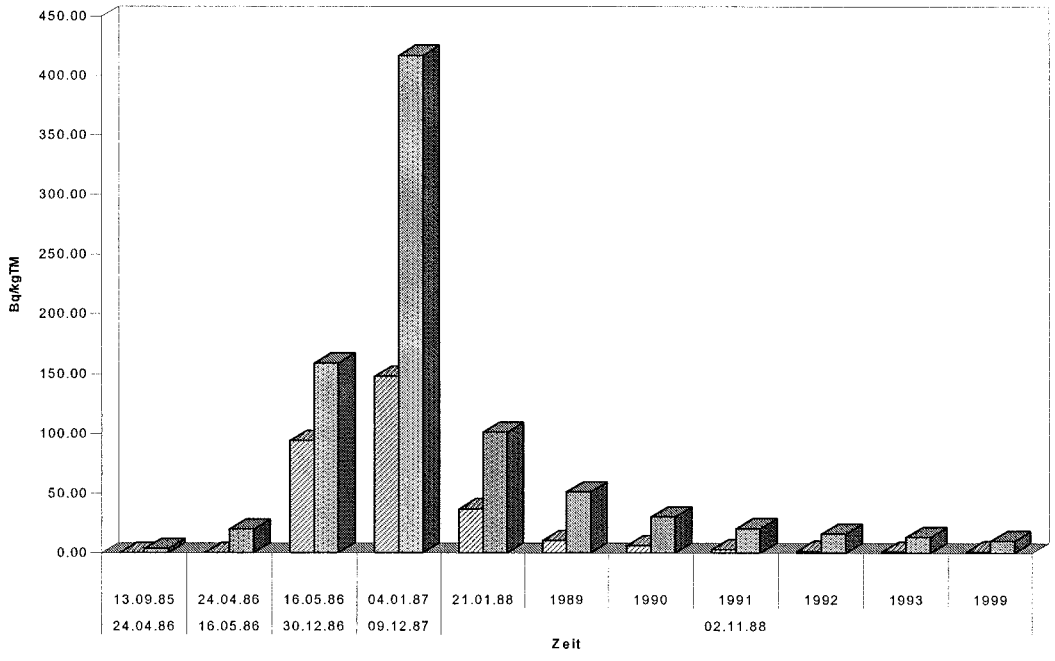


Abbildung 4: Radioaktive Kontamination von Wirtschaftsdüngern mit Radiocäsium (Bq/kg Gülle bzw. Mist (TS)). Die linken (hellen) Säulen geben die Belastung mit Cs 134, die rechten (dunkleren) Balken die Belastung mit Cs 137 wider.

Bei den Messungen von Wirtschaftsdüngern aus ganz Bayern ist deutlich die Abnahme von Radiocäsium seit 1987 zu erkennen. Im Vergleich der Jahre 1987 bis 1999 ist die ursprünglich starke Belastung von 417 Bq/kg Trockenmasse (TS) auf einen Messwert von etwa 10 Bq/kg TS im Jahr 1999 zurückgegangen (Abbildung 4).
Die Anzahl der untersuchten Proben pro Zeitabschnitt lag bei etwa 50. Die Hauptmenge der Proben bestand aus Rindergülle, -jauche und -mist. Etwa 10 % der Proben war ein Güllegemisch aus Rinder-, Kälber- und/oder Schweinegülle, -jauche oder -mist.

3.4 Immissionen von Blei aus der Luft

Mitte der 80er Jahre wurden im Mittel jährlich knapp 70 g Blei /ha in landwirtschaftlich genutzte Gebiete Bayerns eingetragen. Auf 90 % der BDF lagen die Blei-Werte zwischen 47 und 101 g/ha (Abb. 5).

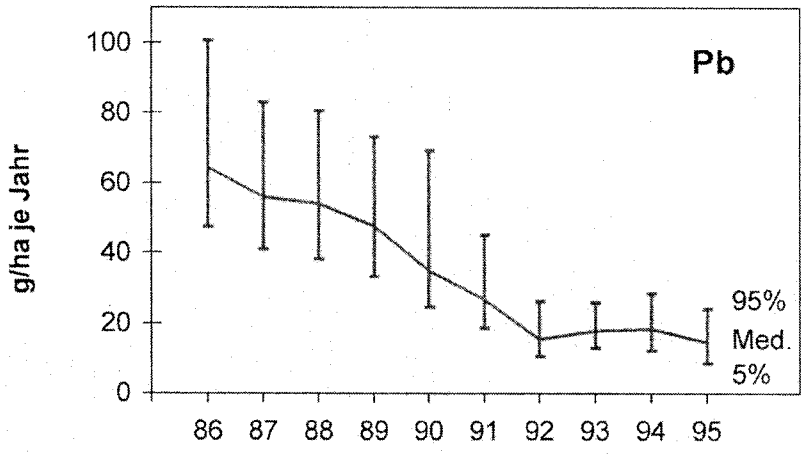


Abbildung 5: Entwicklung der Bleieinträge von 1985-1995 (g/ha und Jahr)

Die Belastungsschwerpunkte lagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Verdichtungsraum Nürnberg-Fürth-Erlangen-Hersbruck (über 90 g/ha) und in Nähe der Autobahn München-Salzburg (Maximalwert 134 g/ha und Jahr). Demgegenüber wurden in städtischen Gebieten und an industrienahen Standorten deutlich höhere Blei-Einträge von 230 g/ha gemessen (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Mittel von 8 Messstationen).
Bis 1992 gingen die Blei-Einträge im ländlichen Bereich als Folge des Benzin-Bleigesetzes von 1988 auf etwa ¼ zurück und pendelten im Mittel auch in den Folgejahren um 20 g/ha mit nur geringen landesweiten Schwankungen (1995 bei 90 % der BDF Werte zwischen 12 und 29 g/ha). Wesentlich stärker noch ist der Rückgang in städtischen Gebieten und an industrienahen Standorten (1995 im Mittel 50 g Blei/ha), wo sich der Abwärtstrend auch weiter fortsetzt (1999 < 20 g/ha).

Damit erreichen die heutigen Bleieinträge auf landwirtschaftlichen Flächen im Mittel nur weniger als 5 % des im Entwurf der neuen TA-Luft festgelegten Depositionswertes zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch luftverunreinigende Stoffe und vor schädlichen Bodenveränderungen (Entwurf der TA-Luft vom 12.12.2001). Auch die nach BBodSchV bei Überschreitung der Vorsorgewerte im Boden zulässige zusätzliche jährliche Fracht für alle Wirkungspfade wird bei Blei durch Immissionen nur zu 5 % ausgeschöpft.

3.5 Kupfer-Gehalte in Wirtschaftsdüngern

Wirtschaftsdünger können neben den für Pflanzen erwünschten Nährstoffen auch unerwünschte Begleitstoffe wie Schwermetalle enthalten. Ursache können Futtermittelrohstoffe und Futterzusätze, Betriebsmittel, aber auch diffuse Quellen wie Abrieb von Stalleinrichtungen oder Lagerungsbehältern sein.

Das Schwermetall Kupfer wirkt in hohen Dosierungen desinfizierend und bakterizid und wird deshalb u.a. in der Ferkelfütterung prophylaktisch gegen Durchfallerkrankungen sowie zur Leistungsförderung eingesetzt. Bei Schweinebetrieben können daher durch mit Kupfer supplementierte Mineralfuttermittel erhebliche Mengen an Kupfer über Wirtschaftsdünger in den Boden gelangen.

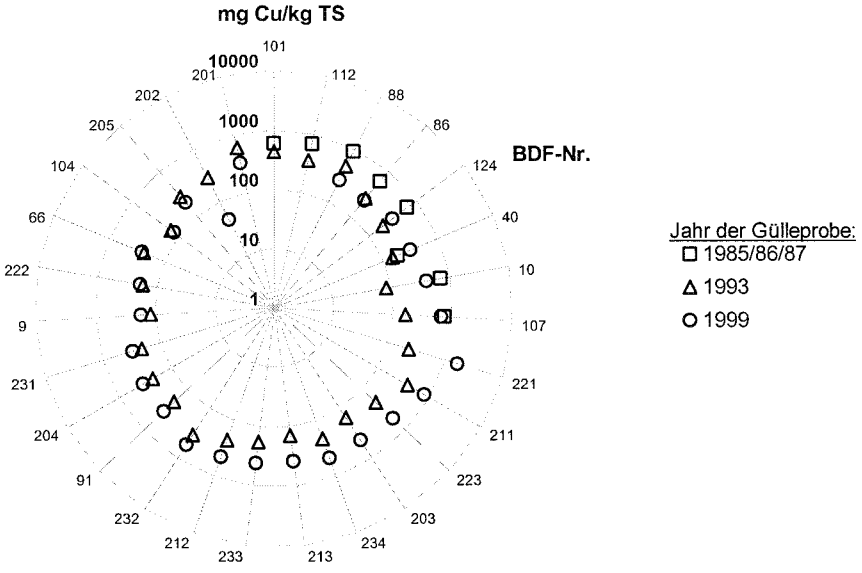


Abbildung 6: Kupfergehalt in Schweinegülle in mg/kg TS (logarithmische Darstellung)

Diese Abbildung zeigt die Entwicklung der Kupfergehalte in Schweinegülle von 1985 – 1999 (drei Beprobungen). Bei der 2. Beprobung waren die Kupfergehalte um 20 bis 88 % niedriger als die Werte der Erstbeprobung (Mittelwert 626 mg gegenüber 259 mg Cu/kg TS).
Dies ist ursächlich auf die Änderung der Futtermittel-Verordnung (FMV) mit einer Absenkung des zulässigen Kupferzusatzes in Futtermitteln zurückzuführen. 1985/86 war bei Mastschweinen bis zur 16. Lebenswoche ein Kupferzusatz von 175 mg/kg Futter, von 16 Wochen bis 6 Monate von 100 mg/kg Futter zulässig. Mit der Änderung der FMV 1987 wurde der Kupferzusatz bei Mastschweinen ab der 16. Woche von 100 auf 35 mg/kg Futter und bei Zuchtschweinen von 50 auf 35 mg/kg Futter herabgesetzt (gültig für 2.Beprobung 1993).

Zwischen 1993 und 1999 wurde bei mehr als 75 % der untersuchten BDF- und Mastschweine- bzw. Ferkelerzeugungsbetriebe ein erneuter deutlicher Anstieg der Kupferwerte gemessen (Mittelwert 1993 bei 234 gegenüber 405 mg Cu/kg TS 1999). Bei knapp 50 % der untersuchten Betriebe lagen die Kupfergehalte 1999 um Faktor 2 bis 6 höher als 1993 (Abbildung 7).

Der neuerliche Kupfer-Anstieg in der Schweinegülle steht in ursächlichem Zusammenhang mit dem Wegfall antibiotischer Leistungsförderer (derzeit nur mehr Zulassung für drei, Anfang der 90er Jahre noch für 10 antibiotische Leistungsförderer). Um die bakterizide Wirkung von Kupfer auszunutzen, werden die maximal zulässigen Kupferzusätze in Futtermitteln weitgehend ausgeschöpft.

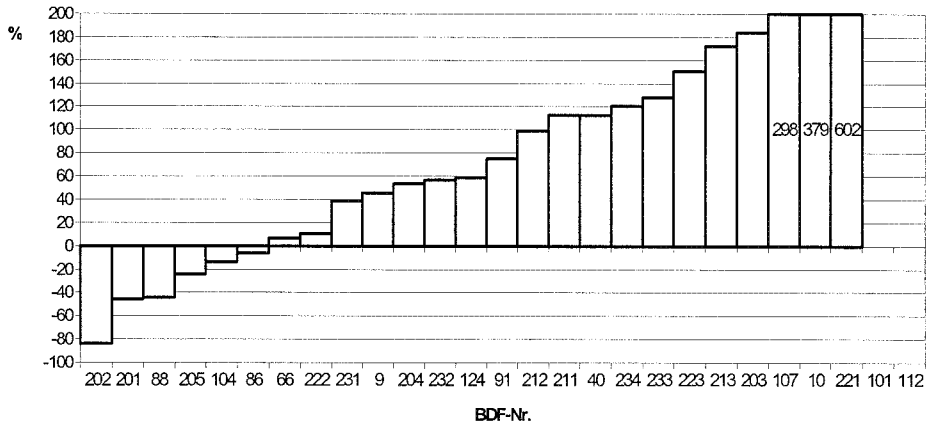


Abbildung 7: Veränderung des Kupfergehalts in Schweinegülle zwischen 1993 und 1999 in %

4. Schlussfolgerungen

Die in Bayern vorgenommene Auswahl der BDF nach vorherrschender Nutzung und standortkundlicher Landschaftsgliederung erlaubt flächenrepräsentative Aussagen für landwirtschaftlich genutzte Flächen.
Am Beispiel der Radiocäsiumbelastungen konnte gezeigt werden, dass die rechtzeitige Etablierung eines Monitoringprogramms und die Kenntnis von Grundbelastungen vor einem nuklearen Ereignis entscheidend für die Konzeption des Radioaktivitäts-Messprogrammes und die Beurteilung der regional sehr unterschiedlichen Radionuklidbelastungen war. Von den untersuchten Nukliden ist das Cäsium 137 neben Strontium 90 wegen der langen Halbwertszeiten heute noch von großer Bedeutung.
Am Beispiel Blei konnte bayernweit die geringe Bleibelastung der landwirtschaftlich genutzten Böden durch Stoffeinträge aus der Luft und der starke Rückgang seit Mitte der 80er Jahre dokumentiert werden. Auch das Beispiel über Veränderungen im Kupfergehalt von Wirtschaftsdüngern zeigt, dass kurzfristige Variationen in den Stoffeinträgen z.B. als Folge von Gesetzesänderungen oder Modifikationen der Zulassungsbedingungen, im Rahmen eines Boden-Monitorings, nur durch eine zusätzliche pfadbezogene Betrachtung erfasst werden können.

Die landwirtschaftlich erzeugten Futtermittel und Grundnahrungsmittel stehen am Anfang aller Nahrungspfade. Immissionen und Einträge von Schwermetallen aus Futtermitteln oder auch radioaktive Einträge betreffen vor allem die Landwirtschaft, die als der größte Flächennutzer in der Bundesrepublik unmittelbar und sofort von Immissionen betroffen ist. Es ist daher die Aufgabe des Monitoringprogramms, nicht nur den Zustand des Bodens zu dokumentieren und das Ausmass von Stoffeinträgen zu messen, sondern Veränderungen im Ökosystem zu beobachten, zu beurteilen und durch eine vorausschauende Risikobeurteilung der wichtigsten Eintrags- und Nahrungspfade die Minimierung der Kontamination von Futter- und Lebensmitteln zu gewährleisten.
Die Messungen im Rahmen des BDF-Monitoringprogramms dienen somit der Erhaltung unserer Kulturlandschaft und der Produktion gesunder Nahrungsmittel und leisten einen unverzichtbaren Beitrag zur nachhaltigen Bewahrung unserer Lebensgrundlagen.

5. Literatur

BARTH N. ET AL. (2000): Boden-Dauerbeobachtung. Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – Rosenkranz Einsele, Harreß **(2000)** Bodenschutz. 32. Lfg. XI, 9252 Berlin

BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen in Bayern. Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme, Analytik. - Rosenkranz, Einsele, Harreß **(1992)** Bodenschutz. 9.Lfg X, 9400. Berlin

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus Kerntechnischen Anlagen; Urban & Fischer Verlag, **10/2000**

HAISCH A., MAYER J., HENKELMANN G. (2000): Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft – Organisation, Ergebnisse und Maßnahmen. - Bodenkultur und Pflanzenbau, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, **2/00**, 4. Jg.

HENKELMANN G. (1999a): Bodenschutz und Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft. - Beiträge zum FÜAK-Seminar „Grundsätze der guten fachlichen Praxis in der landwirtschaftlichen Nutzung" vom 28. - 29. 09.1999 in Landshut und am 20. - 21.10.1999 in Ansbach, Internet-Veröffentlichung unter http://www.stmelf.de

HENKELMANN G. (1999b): Bodenschutz und Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft – Tschernobyl und Ergebnisse des Jahres 1998. - Tagungsband zu den Marktredwitzer Bodenschutztagen, Bodenschutz und Altlastensanierung, Band 1, **10/1999**, 89-93

LENGFELDER E. ET AL. (1988): Strahlenwirkung – Strahlenrisiko: Ergebnisse, Bewertung und Folgerungen nach dem kerntechnischen Unfall aus ärztlicher Sicht, Heinrich Hugendubel Verlag 1988, ISBN 3-88034-414-0

MÜLLER C. (1997a): Schwermetalle in: Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995 Teil I Einführung, Stoffbestand des Bodens – Nährstoffe, Schadstoffe. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, **4/97**, 1.Jg., 21-31

MÜLLER C. (1997b): Immissionen, Wirtschaftsdünger in: Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995 Teil II Stoffeinträge – Stoffausträge –Schwermetallbilanzierung verschiedener Betriebstypen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, **5/97**, 1.Jg., 87-117

Bodenbiologische Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen Regenwürmer als Bioindikatoren

Bauchhenß, Johannes
Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Vöttinger Str. 38,
85354 Freising
e-mail: Johannes.Bauchhenss@lbp.bayern.de

Abstract:

For soil zoological investigations on long term soil monitoring plots a general concept is not yet available. It is necessary to find organisms which are suitable as indicator organisms. Ecological relevance, a not too tight contribution, a sophisticated and simple technics for taking samples and suitable methods for evaluation should be conditions. The investigation of earth taxocoenoses will be justice to all this criterions.

Zusammenfassung:

Für bodenzoologische Untersuchungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen gibt es noch kein allgemein gültiges Konzept. Es gilt Organismen zu finden, die als Indikatororganismen geeignet sind. Ökologische Relevanz, eine nicht zu kleinräumige Verteilung, eine sichere und einfache Probennahmetechnik und geeignete Bewertungsmethoden sind hierfür Anforderungen. Beobachtung von Regenwurmtaxozönosen wird diesen am besten gerecht.

Keywords:

Long term soil monitoring plots, bioindicators, Collembola, Oribatid Mites, Lumbricides

Schlagworte:

Dauerbeobachtungsflächen (BDF), Bioindikatoren, Collembolen, Oribatiden, Lumbriciden

Während es für chemische und physikalische Untersuchungen im Rahmen eines Bodenmonitorings detaillierte Anweisungen, von der Probennahme bis hin zur Analytik und Bewertung gibt, besteht im Bereich der Bodenbiologie – und ganz speziell im Bereich der Bodenzoologie - noch keine Einigkeit bezüglich der zu untersuchenden Organismengruppen, der Methodik und der Bewertung – und dies, obwohl im Bodenschutzgesetz ausdrücklich gefordert ist, die natürliche Funktion des Bodens, auch als Lebensraum für Bodenorganismen zu schützen oder wiederherzustellen.
Es gilt, auch in der Bodenzoologie, ökologisch relevante Organismengruppen zu finden, die als Indikatororganismen geeignet sind den Zustand eines Bodens darzustellen und seine Entwicklung über längere Zeitspannen zu beobachten. Hierfür müssen praktikable Freilandmethoden zur qualitativen und quantitativen Probennahme erarbeitet und geeignete statistische Verfahren für die Beurteilung der Ergebnisse gefunden werden.

Im Arbeitsbereich Bodenzoologie der LBP Freising werden derzeit drei bodenfaunistische Untersuchungsverfahren praktiziert: Die Untersuchung der edaphischen Fauna geschieht mittels der Berlesemethode, die der epigäischen Fauna anhand von Bodenfallen und die Untersuchungen der Regenwurmfauna erfolgt mittels der Formalinaustreibung. Diese Verfahren lassen sich jeweils nur auf bestimmte Fragestellungen anwenden und bringen unterschiedlich differenzierte und unterschiedlich zu wertende Aussagen. Nicht alle Organismengruppen und Untersuchungsverfahren eignen sich für ein Boden-Langzeit-Monitoring. Dies soll hier dargestellt werden:

1 Untersuchungen der edaphischen Fauna im Rahmen von Langzeitbeobachtungen:

Die Untersuchung der edaphischen Fauna geschieht in der Regel durch die Berlesemethode – oder seltener durch Auswaschtechniken. In landwirtschaftlichen Böden sind hauptsächlich Collembolen und Oribatiden zu finden. Dies sind Tiere, die, weil sie selbst nicht im Boden graben können auf Bodenhohlräume als Lebensraum angewiesen sind. Dies können Hohlräume sein, die bei der Bodenbearbeitung entstanden sind, oder leere Wurzelröhren oder verlassene Regenwurmröhren. In diesen Hohlräumen sind die Tiere zu Tausenden bis in etwa einen Meter Tiefe anzutreffen. In kompakten, dicht gelagerten Bodenbereichen sind sie dagegen nicht zu finden.
Das schwerpunktmäßige Vorkommen der Tiere in Bodenhohlräumen bewirkt deren ungleichmäßige Verteilung im Boden. Die Verteilung der Collembolen und Oribatiden ist in hohem Maße von der Verteilung der Bodenhohlräume abhängig.

Wie ungleich verteilt Collembolen in Berleseproben vorkommen können zeigt Tabelle 1 und Abbildung 1 (vergl. BAUCHHENSS 1977). Hier wurden auf einer äußerlich homogenen Wiesenfläche sechsunddreißig 100 ml Bodenstechzylinder in sechs Reihen zu je 6 Stechzylindern unmittelbar nebeneinander in den Boden geschlagen und so auf einer Fläche von ca. 45x45 cm 36 Bodenproben gewonnen. Diese wurden unter gleichen Konditionen in Berlesetrichtern ausgewertet.
Sowohl die Gesamtindividuenzahlen als auch die Abundanzwerte der einzelnen Arten sind so ungleich, dass nicht zu erkennen ist, dass die Proben in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander genommen wurden. Die ungleichmäßige Verteilung macht es geradezu unmöglich mit einer arbeitstechnisch noch vertretbaren Anzahl von Stichproben und einer noch bearbeitbaren Stichprobengröße den typischen Collembolenbesatz einer Fläche zu definieren, geschweige denn, ihn über längere Zeiträume zu vergleichen.
Erschwerend kommt bei Untersuchungen der edaphischen Fauna noch hinzu, dass sich auf landwirtschaftlichen Flächen die Artenzusammensetzung der Taxozönosen mit den Anbaufrüchten ändert. Zudem sind starke jahreszeitliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung festzustellen. Selbst kurzfristige Witterungseinflüsse, wie zum Beispiel Sommergewitter, können die Individuendichte und die Artenzusammensetzung ganz plötzlich ändern.

	F. quadrioculata	I. notabilis	I. viridis	L. lanuginosus	I. bipunctata	L. cyaneus	T. quadrispina	Sminthurus sp.	O. armatus	S. pumilis	S. aureus	O. cincta	T. krausbaueri	S. nicromaculatus	S. mulitpunctatus	I. minor	F. mirabilis	I. productus	Summe
R1	21	17	1	5	2													3	49
R2	34	49	6	8	25	13	1	6											142
R3	17	14	9	5	18	1	2												66
R4	6	22	8	6	8	6		2		2	1	1							62
R5	8	11	5	2	9	1							2						38
R6	3	14	10	2	2	3	3			2	1								40
R7	30	56	2	1	5	2					1								97
R8	6	7	3	8	1	10		2		1				1					39
R9	18	21	4	1	4	9													57
R10	21	12	10	10	18	3													74
R11	16	8	11	2	4	2													43
R12	11	40	6	5	3	2	2												69
R13	35	49	3	8	10	9	1		1										116
R14	16	19	3	14		4	1									1			58
R15	37	10	3	8	2	9								1					70
R16	14	7	3	5		3					1								33
R17	21	6	1	2	1	1	1												33
R18	19	2	7	4	1	3													36
R19	12	16		3															31
R20	14	18	1	7		32							1						73
R21	35	48	2	8	2	3				2									100
R22	22	13	5			5	1			1	1								48
R23	20	18	2	5	2						2								49
R24	18	20	5	5	4	7	2			2	2		1						66
R25	10	26		20	1	9						1					2		69
R26	10	62	2	22	1	9				1					1				108
R27	26	24		7		5	1			2	1								66
R28	52	55	4	7		10	2				1								131
R29	17	22	4	3		6	1				2								55
R30	5	15	6	11		6	2			4		1	1						51
R31	7	22	3	5		7			1						1				46
R32	2	22	1	21	2	5													53
R33	18	19	2	7		6				1		1							54
R34	5	13		11		9													38
R35	17	25	2	4	1	2	1		1	2			1						56
R36	2	21		6		2	3			1									35
∅	17	23	3,7	6,9	3,5	5,4	0,7	0,3	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	63
s^2	127	241	9,4	28	34	32	0,9	1,2	0,1	0,9	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	774

Tabelle 1: Collembolen-Abundanzwerte aus 36 100-ml-Berleseproben. Die Proben wurden auf einem Geviert von 45 cm Kantenlänge auf einer homogenen Rasenfläche genommen.

Erschwerend kommt noch hinzu, dass Collembolen und Oribatiden, die in Berleseproben am häufigsten vorkommenden Tiergruppen, mit sehr hohem Arbeitsaufwand aus den Berlesevorlagen ausgelesen werden müssen. Für die Artbestimmung, die nur unter dem Mikroskop erfolgen kann, müssen Einzelpräparate gefertigt werden.

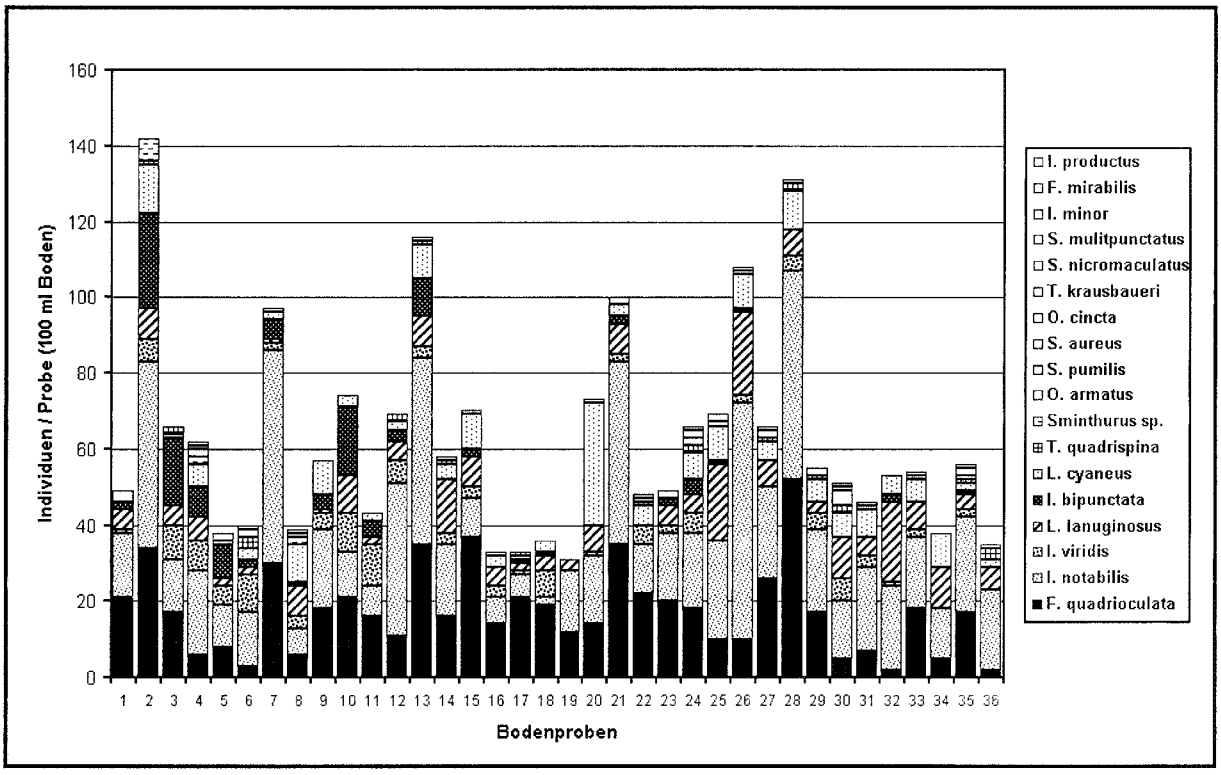


Abbildung 1: Individuendichte und Artenverteilung in 36 100-ml Berleseproben. Die Proben wurden auf einem Geviert von 45 cm Kantenlänge auf einer homogenen Rasenfläche genommen.

2 Untersuchungen der epigäischen Fauna im Rahmen von Langzeitbeobachtungen:

Die Aufnahme der epigäischen Fauna geschieht in erster Linie durch Bodenfallenfänge. Andere Methoden wie Exhaustorfänge oder das Aussieben von Böden sind sehr aufwendig und nur in geringer Stichprobenzahl zu bewerkstelligen und zudem ungenau. Bodenfallen aber zeigen nur die Aktivitätsdichte der Tiere an. Das Fangergebnis ist somit von der Witterung abhängig. Auch Bodenunebenheiten und dichter Pflanzenbewuchs beeinflussen als Laufwiderstand das Fangergebnis negativ.
Mit Bodenfallen ist es sehr gut möglich, zur gleichen Zeit verschiedene nahe beieinanderliegende Flächen mit gleichen Strukturen zu beproben. Hier können die Ergebnisse der einzelnen Fangtermine miteinander verglichen werden. Vergleichende Untersuchungen einer einzelnen Fläche über mehrere Jahre sind aber wegen der Witterungsabhängigkeit der Ergebnisse nicht sinnvoll.
Auch das Einstellen der Fallentermine nach phaenologischen Daten löst das Problem nicht, wie Abb. 3 zeigt (vergl. BAUCHHENSS 1989). Bei den dargestellten Untersuchungen auf Weinbergen und naturnahen Flächen wurden die Bodenfallen in jedem Jahr nach gleichen phaenologisch definierten Terminen aufgestellt und auch wieder abgebaut. Trotz phaenologisch definierter +Fangperioden ist der Unterschied der Collembolen- und Oribatiden-Individuendichte sehr hoch. Für die hier als Beispiel dargestellten Untersuchungen war dies unerheblich, da nur nach dem Unterschied zwischen Weinbergen und angrenzenden naturnahen Flächen gefragt war, zum absoluten Vergleich der Collembolen- und Oribatidendichte über die Jahre ist die Methode ungeeignet. Allenfalls wäre es möglich, die Entwicklung des Artenspektrums im Laufe der Jahre aufzuzeigen. Dies würde sich beispielsweise bei Carabiden anbieten.

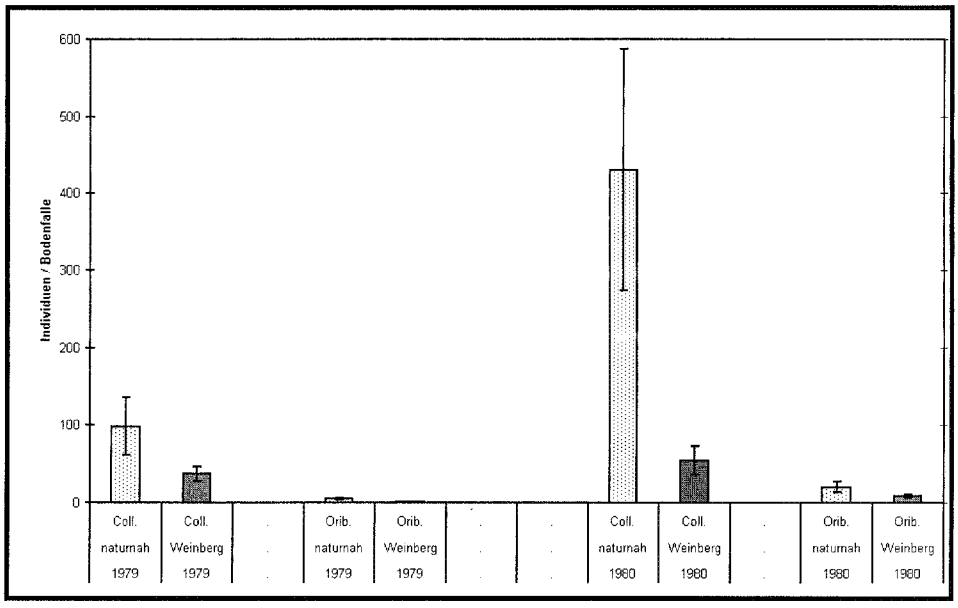


Abbildung 2: Collembolen- und Oribatiden-Individuenzahlen aus Bodenfallenproben von naturnahen Flächen und Weinbergsflächen aus 2 Untersuchungsjahren. Das Aufstellen und Abräumen der Fallen erfolgte in beiden Untersuchungsjahren an phaenologisch definierten Terminen.

3 Untersuchungen der Regenwurmtaxozönosen im Rahmen von Langzeitbeobachtungen:

Aufnahmen der Regenwurmtaxozönosen sind geeignete Mittel langfristig den biologischen Zustand eines Bodens zu charakterisieren und Änderungen festzustellen. Vorteile liegen in der relativ einfachen und sicheren Untersuchungstechnik und der hohen Aussagekraft der Ergebnisse, in der Bedeutung der Regenwürmer für die Agrarbiozönose und in den eindeutigen Reaktionen der Regenwurmfauna auf landwirtschaftliche Maßnahmen. Ein weiterer großer Vorteil für die Auswertung bei Regenwurmuntersuchungen ist, dass keine jahreszeitlichen Schwankungen zu beobachten sind und dass kurzfristige Witterungseinflüsse für die Zusammensetzung der Taxozönose keine Rolle spielen. Die geringe Fortpflanzungsrate und das potentiell erreichbare verhältnismäßig hohe Alter der Tiere verhindern abrupte Schwankungen der Populationsdichte.
In der Formalinmethode (vergl. BAUCHHENSS 1981 und BAUCHHENSS 1997) steht eine technisch einfache Probennahmemethode zur Verfügung.
Mit Ausnahme der Diapausezeiten und Zeiten strengen Frostes sind quantitative, flächenbezogene Probennahmen jederzeit möglich. Auf frisch gepflügten Äckern sollte man allerdings darauf achten, dass sich der Boden gesetzt hat und keine großen Bodenhohlräume vorhanden sind.
Durch Nachgraben und Handauslese kann die Genauigkeit der Probennahme überprüft werden (vergl. BAUCHHENSS 1997). Dies ist im Vergleich zu den spärlichen Kontrollmöglichkeiten bei anderen ökologischen Freilandmethoden ein großer Vorteil. Fehlermöglichkeiten liegen darin, dass sich kleine oder juvenile Formen im Wurzelfilz verfangen oder an der Bodenoberfläche nicht erkannt werden.
Im Durchschnitt liegt die Effektivität der Austreibung bei 92% +/- 5%, für Freilandaufnahmen ein sehr guter Wert. Sollte die Austreibungswirkung geringer sein, muss geprüft werden, ob die Tiere nicht doch in Diapause sind.

Bei einer Entnahme von 10 Stichproben von je 1 m² Fläche auf Ackerflächen (und ¼ m² auf Grünland) ist der Regenwurmbestand einer 1000 m²-Bodendauerbeobachtungsfläche gut und reproduzierbar zu erfassen. „Messgrößen" sind die Gesamt-Individuendichte, die Gesamt-Biomasse, die Abundanzwerte und die artbezogene Biomasse. Da die Tiere häufig „nicht-normal" verteilt vorkommen, empfiehlt es sich für statistische Auswertungen generell parameterfreie Verfahren anzuwenden.

Von Vorteil ist auch, dass adulte Regenwürmer in der Regel bei schwachen Vergrößerungen unter dem Binokular nach äußeren morphologischen Kriterien zu bestimmen sind. Die Biomasse kann ausreichend genau aus dem Volumen der Tiere berechnet werden (vergl. HERR u. BAUCHHENSS 1987).

Die einzelnen Regenwurmarten reagieren sehr unterschiedlich auf landwirtschaftliche Maßnahmen. Auf der Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) 42 ergibt sich bezüglich der Gesamtindividuendichte kein Unterschied zwischen dem ersten und dem zweiten Untersuchungsdurchgang. Auch die Arten L. terrestris, O. lacteum und die juvenilen Formen zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede der Abundanzwerte. Bei L. rubellus, A. rosea und L. castaneus ist eine signifikante Steigerung, bei A. caliginosa eine signifikante Verminderung der Abundanzwerte festzustellen.

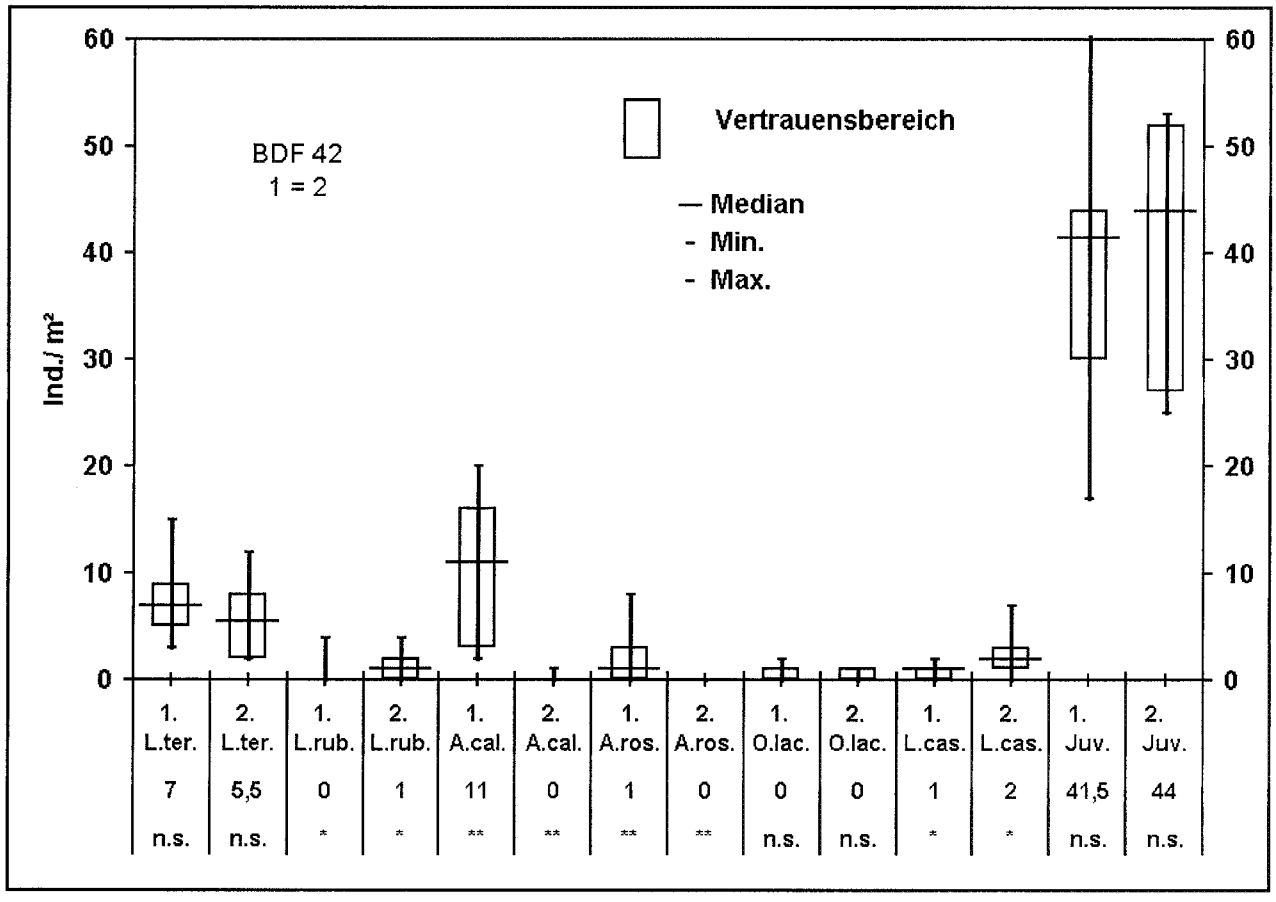


Abbildung 3: Abundanzvergleich der Regenwurmtaxozönosen auf der Grünland-Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) 42. 1. Probentermin Frühjahr 1986, 2. Frühjahr 1991. Dargestellt sind Medianwerte, die Vertrauensbereiche bei 95 % und die Maximal- und Minimalwerte. Die Beschriftung der x-Achse zeigt die Probennahmeserie, den abgekürzten Artnamen, den Medianwert und die statistische Wertung nach dem U-Test (= Medianwerte trennen bei 95 %, **= Medianwerte trennen bei 99 %, n.s. = Medianwerte zeigen keine signifikanten Unterschiede)*

Untersuchungen der Regenwurm-Taxozönosen und die statistische Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe des U-Tests erweisen sich als ein praktikables, einfaches, genaues und aussagekräftiges zoologisches Verfahren für Langzeitbeobachtungen der Bodenqualität.

Literatur:

BAUCHHENSS, J. (1977): Zur speziellen Problematik bodenzoologischer Untersuchungen, Berichte der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde Ed. R. Tüxen **1976** - Vegetation und Fauna, 25-47.

BAUCHHENSS, J. (1981): Artenspektrum, Diversität und Umsatzleistung von Lumbriciden auf unterschiedlich bewirtschafteten Grünlandflächen verschiedener Standorte Bayerns. - Bayer. Landw. Jb. **59,** 119-124.

BAUCHHENSS, J. (1989): Vergleichende Untersuchungen der Collembolen- und Oribatidenbesiedlung von Weinbergen und naturnahen Flächen auf Vier Weinbergen Unterfrankens. - Bay. Landw. Jb. **66**, 985-1010.

BAUCHHENSS, J. et al. (1993): Regenwürmer als Bioindikatoren, Ergebnisse des Bodenbeobachtungsprogramms der LBP. - Schule und Beratung, **93**, 07, III 4-8.

BAUCHHENSS, J. (1997): Bodenzoologie In: Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), Bericht nach 10jähriger Laufzeit, Teil III. - Bodenkultur und Pflanzenbau, **6**/97-231.

BAUCHHENSS, J. (1998): Methodik und Relevanz von Regenwurmuntersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF). - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, **87**, 347-350.

HERR, S. u. J. BAUCHHENSS (1987): Einfacher Bestimmungsschlüssel für Regenwürmer. – Schule und Beratung, **87**, 2, III 15-20.

Boden-Dauerbeobachtungsflächen als Zeit-Catena auf Kippen des Braunkohlenbergbaus

String, P., M. Weller
Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Köthener Str. 34, 06118 Halle (Saale)
e-mail: string@lagb.mw.lsa-net.de

Abstract: *Within the scope of the soil monitoring program there arose the opportunity of investigating soil development in dumping grounds of different age but consisting of equal material. Leading thesis hereby was that in this way processes that normally are going after one another can be observed simultaneously, in parallel arrangement. It was found out, however, that time has not so much an influence on soil development than has dumping technology.*

Zusammenfassung: *Im Rahmen des Boden-Dauerbeobachtungsprogramms ergab sich die Möglichkeit, die Bodenentwicklung auf unterschiedlich alten, aber aus gleichem Material bestehenden Kippflächen zu untersuchen. Hierbei wurde von der These ausgegangen, dass Prozesse, die zeitlich nacheinander ablaufen, hier parallel zueinander beobachtet werden können. Es zeigte sich aber, dass den größten Einfluss auf die Bodenentwicklung nicht die Zeit, sondern die Verkippungstechnologie hat.*

Keywords: soil monitoring, mine soil, soil development, recultivation, soil function.

Schlagworte: Boden-Dauerbeobachtung, Kippboden, Bodenentwicklung, Rekultivierung, Bodenfunktion.

1 Vorbemerkung

Die Studie „Aufbau eines Bodenbeobachtungssystems in Sachsen-Anhalt“ (ALTERMANN et al., 1993) sieht auch die Einrichtung von sechs Boden-Dauerbeobachtungsflächen auf Kippenböden vor, zwei davon im Raum Pirkau und Profen. Damit wird dem umfangreichen Braunkohlenbergbau, durch den etwas mehr als 1% der Landesfläche devastiert wurde, Rechnung getragen. Vor der Beschreibung der durchgeführten Arbeiten sollen kurz die ursprünglichen geologischen und bodenkundlichen Verhältnisse beschrieben werden.

2 Geologische und bodenkundliche Verhältnisse

Die Braunkohlenlagerstätte Profen gehört zum Zeitz-Weißenfelser Braunkohlenrevier im Weiß-Elsterbecken. Unter Weiß-Elsterbecken wird eine vom Mitteleozän bis zum Mittel-oligozän bestehende Binnensenke verstanden, in der die wirtschaftlich so wichtigen Braunkohlenflöze abgelagert wurden.
Bestimmend für die geologische Situation ist die Subrosion des Werra- und Basalanhydrites während des Mittel- und Obereozäns. In dieser Zeit entstand das Flöz 1 (= Sächsisch-Thüringisches Unterflöz), welches in Zonen besonders intensiver Subrosion, in den sog. Kesseln, zu erheblicher Mächtigkeit anschwillt.

Das Hangende des Flöz 1 sind fluviatile Sande, in die das Thüringer Hauptflöz (= Flöz 3 auch Bornaer Hauptflöz) eingelagert ist. Darüber folgen wieder fluviatile Sande mit z. T. marinen Einflüssen und dem in der Regel nicht bauwürdige Böhlener Oberflöz. Mit gering-mächtigen Sanden und Schluffen endet die tertiäre Schichtenfolge.
Die nächstjüngeren Ablagerungen sind frühpleistozäne Flussschotter. Darüber folgen Bänderton (=Dehlitzer Bänderton) und zwei Grundmoränen aus der Elsterkaltzeit, die durch den Pirkauer Bänderton getrennt sind. Nach einer Schichtlücke finden sich in diesem Gebiet fluviatile Sande und Kiese, die zur Hauptterrasse gerechnet werden, und der Geschiebemergel der Saalekaltzeit. Warmzeitliche Ablagerungen fehlen bzw. sind nur in Resten erhalten. Den Abschluss der Sedimentfolge bildet der weichselzeitliche Löss mit der Schwarzerde (Tschernosem) als Bodenbildung.
Das gewachsene Profil ist durch den Bergbau weitgehend zerstört. Nur an wenigen Stellen kann es noch beobachtet werden, z. B. an der Standböschung am D 1. Dort ist ein für diese Region komplettes Pleistozänprofil: Löss mit Bodenbildung (Tschernosem), eine Fließerde aus Löss, Schmelzwassersand mit Geschiebemergelschollen und Geschiebemergel aufgeschlossen. Ähnliche Profile sind an der der Tagebaueinfahrt und vom Aussichtspunkt der MIBRAG zu beobachten.

3 Bergbau

Der Raum Pirkau-Profen ist einer von drei Konzentrationspunkten des ehemaligen Braunkohlenbergbaus in Sachsen-Anhalt. In diesem Gebiet wird seit etwa 250 Jahren Braunkohle abgebaut, zuerst im Tiefbau, seit ca. 80 Jahren ausschließlich im Tagebaubetrieb (s. Abb. 1).

(hier gescanntes Foto des Tagebaubetriebes einfügen)

Abb. 1: Der Braunkohlen-Tagebau Profen

Dabei ist neben anderen Orten (Döbris, Steingrimma, Queisau, Dobergast, Stöntzsch, Köttichau) auch die für einen Tagebau und eine Boden-Dauerbeobachtungsfläche namengebende Gemeinde Pirkau überbaggert worden. Der Tagebaubetrieb hinterlässt Restlöcher und Kippen. Kippen entstehen in Jahresscheiben, und deshalb kann auf Kippen die Bodenentwicklung von ihrem Anfang gleich nach der Verkippung in unterschiedlichen Entwicklungsstadien bis hin zur ältesten Kippscheibe beobachtet werden. Damit entsteht für die Boden-Dauerbeobachtung eine vollkommen neue Möglichkeit: Bodenbildungsprozesse, die eigentlich nacheinander ablaufen, können wegen des unterschiedlichen Alters der Kippböden parallel zueinander beobachtet, verglichen und bewertet werden.

4 Vorarbeiten

Voraussetzung für die geplanten Untersuchungen war die Auswahl von Flächen mit gleichem Kipp-Substrat, gleicher Nutzung und bekanntem Alter. Dazu waren umfangreiche Recherchen im Gelände und in der Markscheiderei notwendig. Zusätzlich mussten zahlreiche Peilstangenbohrungen und Grablöcher angelegt werden. Das gesuchte Substrat sollte ein Gemisch aus Löss und Geschiebemergel sein, Löss etwa 60-70 %, Geschiebemergel etwa 30-40 %. In unverwittertertem Zustand sind Löss und Geschiebemergel gut zu unterscheiden, sowohl nach der Farbe als auch durch die Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung. Dazu wurden Proben genommen, um die Feldbeobachtungen durch

Laboruntersuchungen abzusichern. Es gelang fast immer, das vorgesehene Mischungsverhältnis zu finden, obwohl die Anteile manchmal horizontal und vertikal stark schwanken.

Bei Recherchen in der Markscheiderei wurde nach geeigneten unterschiedlich alten Flächen gesucht, wobei der Altersunterschied zwischen 5 und 10 Jahren liegen sollte. Bei Flächen, die vor 1945 entstanden sind, wurde die genaue Alterszuordnung aus Mangel an Unterlagen z. T. schwierig. Aus Kapazitätsgründen wurden nur sechs Flächen angelegt und untersucht; das sind:

Pirkau 1: geschüttet 1995, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Pirkau
Pirkau 2: geschüttet 1984, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Pirkau
Profen 4: geschüttet 1971/72, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Domsen
Profen 1: geschüttet 1966, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Carl Bosch
Profen 3: geschüttet 1957/58, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Wählitz II
Profen 2: geschüttet ? 1937, angelegt 1996, im ehem. Tagebau Carl Bosch

Alle Vorarbeiten, Recherchen und die Einrichtung der Flächen wurden vom Ingenieurbüro Dr. Vogler und Partner, Böhlitz-Ehrenberg im Auftrag des damaligen Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 1995 und 1996 durchgeführt. 2001 erfolgte mit dem gleichen Büro eine Wiederholungsuntersuchung, deren Ergebnisse noch ausstehen.

Die Nummerierung der Flächen erfolgte in der Reihenfolge ihrer Einrichtung. Es waren zuerst nur vier Flächen vorgesehen, Die Flächen Profen 3 und 4 kamen später dazu. Eine Fläche aus den vierziger Jahren konnte nicht gefunden werden, da Flächen aus diesen Jahren im Verlauf der weiteren Tagebauentwicklung nochmals überkippt worden sind, bzw. in Sachsen liegen. Die wenigen zeitlich sicher einzuordnenden Flächen in Sachsen-Anhalt aus diesen Jahren sind entweder forstlich genutzt oder bestehen aus Substraten, die für den Untersuchungszweck nicht geeignet waren. Für die Boden-Dauerbeobachtung wurden landwirtschaftlich genutzte Flächen gewählt, da diese Nutzung die typische für Kippenflächen in diesem Gebiet ist.

Die Flächen entstanden durch Abraumverkippung in bereits ausgekohlten Tagebauen: Wählitz II, „Carl Bosch", Profen und Pirkau. Die Verkippungstechnologie hat sich in dem beobachteten Zeitraum stark geändert. Das betrifft vor allem die Mächtigkeit der obersten Kippscheibe, bedingt durch den Einsatz größerer Geräte. Die Kippen sind in der Regel zweischichtig: Über einer Tiefschüttung folgt bei den älteren Kippen eine Hand- oder Pflugkippe, etwa 60-80 cm mächtig. Ab den sechziger Jahren kommen immer mehr Großgeräte zum Einsatz, d. h. die ab jetzt hergestellten Kippen bestehen aus einer mächtigen Tiefschüttung und einer ebenfalls sehr mächtigen Hochschüttung. Auf die daraus entstehenden Probleme wird im Text eingegangen.

5 Anlage der Flächen

Die Anlage der Flächen erfolgte nach dem gleichen Schema wie bei allen anderen Flächen auch: Sondieren mit dem Pürckhauergerät, Anlage eines Schurfes, Probenahme, Einmessung, Flächenberäumung.
Darüberhinaus wurde eine Recherche über die Nutzung der Fläche durchgeführt (VOGLER 1998). Neben den angebauten Fruchtarten wurden die Düngung, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und bodenverbessernde Maßnahmen, wie Tiefenlockerung erhoben.

Im Jahr 2001 wurde eine Wiederholungsuntersuchung der sechs BDF im Raum Profen durchgeführt, um feststellen zu können, wie die Bodenentwicklung, speziell bei den jüngeren BDF weitergegangen ist.

6 Ergebnisse:

1.) Wie bei gewachsenen Böden wird der Bodentyp auch bei Kippböden durch die Entstehungsgeschichte bestimmt, d. h.: Gewinnungstechnologie, die Verkippung bzw. die Verkippungstechnologie bestimmen den Bodentyp der Kippböden. Klimatische Faktoren spielen nicht die Rolle wie bei gewachsenen Böden, ebensowenig die Lage zur Grundwasseroberfläche, da die Kippen wegen der Grundwasserabsenkung für den Tagebaubetrieb grundwasserfern entstehen. Die verkippten Substrate in Kombination mit dem Bodentyp ergeben dann die Kipp-Bodenform.

Die vor 1970 entstandenen Kippen (Profen 2, 3 und wahrscheinlich auch noch Profen 1) sind noch mit Hilfe kleinerer Geräte hergestellt worden. Sie sind zweischichtig, d. h. über einer Tiefschüttung aus sehr verschiedenen Substraten folgt im Regelfall ein etwa 30 cm mächtiger, stark humoser Horizont. Teilweise scheint der „neue" Ah-Horizont in einem Sonderbetrieb (Hand- oder Pflugkippe) mit Material aus dem ursprünglichen Ah-Horizont hergestellt worden zu sein. So sind auf der BDF Profen 2 Profile vorhanden, die Tschernosemen aus Löss über Geschiebemergel sehr ähnlich sind. Es fehlt aber die für gewachsene Tschernoseme typische Steinsohle zwischen Löss und Geschiebemergel, und der Löss sondert sich nicht in Polyedern ab. Diese Profile sind in der Minderzahl und nur auf alten Kippen zu finden. Die meisten Profile, vor allem auf den jüngeren Kippen, zeigen vom Bodentyp her eine Pararendzina aus humosem Löss und Geschiebemergel über Löss, Geschiebemergel, Ton, Kohlesand und anderen Substraten.

Die jüngeren Kippen wie Profen 4, Pirkau 1 und 2 sind mit Hilfe von Großgeräten entstanden (s. Abb. 2 u. 3).

(hier Abb. 2 einfügen)

Abb. 2: Der Kippenstandort Pirkau 1; im Hintergrund der Absetzer

(hier Abb. 3 einfügen)

Abb. 3: Auf Kippflächen entstehen beeindruckende Schlaggrößen: Standort Pirkau 2

Es gibt eine sehr mächtige Tiefschüttung, darüber eine mindestens 1, in der Regel aber 2-3 m mächtige oberste Kippscheibe aus Löss und Geschiebemergel. Bei dieser obersten Kippscheibe wurde auf eine möglichst hohe Homogenität des verkippten Materials geachtet. So entstanden Kipp-Rohböden zunächst ohne Horizontierung und nicht wie früher Bodenprofile, die gewachsenen Bodenprofilen sehr ähnlich sind. Die Planierung erfolgte mit immer größer werdenden Pla-

nierraupen, manchmal zu ungünstigen Zeitpunkten, wodurch bereits schon hier eine Bodenverdichtung auftrat, die sich im Verlauf der Nutzung vestärkte, sodass Tiefenlockerungen nötig wurden. Die Erstbestellung erfolgte nun in Kipp-Rohböden. Bei landwirtschaftlicher Folgenutzung lässt sich eine Horizontierung der Kipp-Rohböden ab dem dritten Bewirtschaftungsjahr erkennen. Ein durch Humusanreicherung dunklerer Horizont hebt sich von dem darunterliegenden Substrat ab. Die Neigung zur Stauvernässung wird mit zunehmender Bearbeitungsdauer stärker, wenn sie nicht durch meliorative Maßnahmen aufgehalten wird. So gehen die anfangs vorhandenen Pararendzinen in unterschiedlicher Geschwindigkeit in Pseudogleye über. Dieser Vorgang hat Vor- und Nachteile. Nachteilig ist eine oft langanhaltende Vernässung, die die Bodenbearbeitung erschwert; vorteilhaft ist die verzögerte Wasserversickerung bei langen Trockenperioden, so z. B. 1991.

2.) Die bodenphysikalischen Untersuchungen auf k_f-Wert, Porenverteilung und Korngrößenzusammensetzung bestätigen die Stauvernässung. So sinkt der k_f-Wert bei der BDF Pirkau 2 von 2,21E-03 cm/s im Ap-Sw auf 1,21E-05 cm/s im darunterliegenden C-Sw-Horizont (s. Tab. 1). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der BDF Profen 1. Die jüngste BDF, Pirkau 1, zeigte noch keine Vernässungsmerkmale. Auf Grund des verkippten Substrates und der Verkippungstechnologie ist jedoch wie bei der BDF Pirkau 2 die Neigung zur Vernässung zu erwarten. Dies lässt auch der k_f-Wert des II C-Horizontes erwarten (2,39E-05 cm/s). Die Ergebnisse der Zweituntersuchung werden vielleicht schon eine Tendenz erkennen lassen.

Demgegenüber konnte bei den älteren Kippen nur geringe Neigung zur Vernässung festgestellt werden. Das stimmt auch mit den Aussagen der Bewirtschafter überein. Auffällig sind in diesem Zusammenhang die niedrigen k_f-Werte am Standort Profen 3, die weder mit der Lagerungsdichte noch mit der Profilansprache konform gehen. Hier müssen die Ergebnisse der Wiederholungsuntersuchung abgewartet werden.

(auf separater Seite im hochgestellten Format die Tab. 1 einfügen, von rechts zu lesen)

Aufgrund des Alters der Standorte Profen 1 bis 4 ist davon auszugehen, dass diese Pararendzinen einen stabilen Zustand erreicht haben und die Vernässung sich nicht mehr verstärken wird, während auf den jüngeren Kippen sich die ursprünglich vorhandenen Pararendzinen weiter in Richtung Pseudogley entwickeln werden. Völlig neue Gesichtspunkte können sich aus der endgültigen Aufgabe der Wasserhaltung ergeben, wenn mit dem allmählichen Wasseranstieg in den Restlöchern auch ein weiterer Wasseranstieg in den Kippen beginnt. Allerdings wird dieser Prozess sich über Jahrzehnte hinziehen.

3.) Die bodenchemischen Untersuchungen haben keine Auffälligkeiten gebracht. Der pH-Wert liegt zwischen 7 und 8. Das entspricht den Erwartungen an ein Substrat, das aus Löss und Geschiebemergel besteht. Ausnahmen sind die Horizonte III C von Pirkau 1 sowie II (Sw-)C von Profen 4 mit pH-Werten um 3. Hier sind Kohlensande erfasst worden.
Die Kationenaustauschkapazität ist hoch, der T-Wert liegt zwischen 11-17.
Von besonderem Interesse ist die Humusanreicherung in dem sich entwickelnden A-Horizont (Stand 1996):

	Humus [Masse-%]
BDF Pirkau 1 =	0,5
BDF Pirkau 2 =	2,4
BDF Profen 4 =	3,8
BDF Profen 1 =	1,9
BDF Profen 3 =	2,6
BDF Profen 2 =	2,4

Es zeigt sich, dass es in etwa zehn Jahren, also in sehr kurzer Zeit, zu einer erheblichen Humusanreicherung kommt (Pirkau 1 zu Pirkau 2). Auf diesem Niveau bleibt der Humusgehalt offensichtlich, denn die über fünfzig Jahre alte Kippe Profen 2 zeigt den gleichen Humusgehalt. Für eine Kippe auffallend hoch ist der Humusgehalt in Profen 4. Möglicherweise ist hier Kohle mit erfasst worden, die genauen Gründe müssen noch ermittelt werden.

4.) BDF auf Kippen sind u.a. auch für das Studium von Bodenfunktionen besonders interessant.

Vor der Devastierung gab es hier Braunerde-Tschernoseme und Tschernoseme aus Löss, z. T. über tiefem Geschiebemergel, also Böden, bei denen die Erfüllungsrate der verschiedenen Bodenfunktionen mit wenigen Ausnahmen (Wasserkreisläufe) meist als sehr hoch bis hoch einzustufen ist.

Mit der Verkippung und dem Beginn der Rekultivierung beginnt nicht nur die Bodenentwicklung, sondern die verschiedenen Bodenfunktionen werden wieder wirksam, allerdings unter veränderten Bedingungen. Während im Tagebauvorfeld die o. g. Tschernoseme bzw. Braunerde-Tschernoseme anstehen, wird auf der Kippe die Bodenentwicklung in Richtung Pararendzina gehen, wobei die jüngeren Kippen zur Stauvernässung neigen.

Besonders gut lässt sich an der Bodenfunktion „Standort für die land- und forstwirtschaftliche Produktion“ die Bodenentwicklung auf Kippen darstellen. Nach 15 Jahren landwirtschaftlicher Nutzung haben Kippenflächen im Bereich der BDF Pirkau 2 die Ackerzahl 63 erhalten. Vergleichbare Ackerzahlen gibt es für die BDF Profen 2, 3 und 4. Mit der Ackerzahl 52 liegt die BDF Profen 1 etwas darunter.

Die Ackerzahlen der vor der Devastierung hier anstehenden Böden lagen über 90; die durch Verkippung und Rekultivierung entstandenen Böden erreichen etwa 65-70 % der Ackerzahlen der früheren Böden, die BDF Profen 2 ist schon über 50 Jahre wieder in landwirtschaftlicher Nutzung. Im Übrigen sind die Ackerzahlen der Kipp-Pararendzinen aus Löss und Geschiebemergel auf den BDF Profen 2, 3 und 4 durchaus mit den Ackerzahlen einer gewachsenen Pararendzina aus Löss vergleichbar. Erhebliche Änderungen der Ackerzahl sind erst dann zu erwarten, wenn durch einschneidende Veränderungen ein anderer Bodentyp entstehen sollte.

Die natürlichen Funktionen „Lebensgrundlage und Lebensraum.....“, „Bestandteil des Naturhaushaltes....“ und „Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen“ werden ebenfalls wieder wirksam, sobald die Kippe entsteht. Zur Beurteilung dieser Bodenfunktionen sind neben den Ergebnissen der bodenchemischen und bodenphysikalischen Untersuchungen vor allem die bodenbiologischen Untersuchungen zu beachten.

Literatur

ALTERMANN, M., M. SCHRÖDTER, M. STEININGER, A. TREFFLICH; m. Beitr. v. D. KOPP U. W. SCHWANECKE (1993): Aufbau eines Bodenbeobachtungssystems in Sachsen-Anhalt – Studie – Naturwissenschaftliche Grundlagen. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Standortkunde und Agrarraumgestaltung, Halle.

Braunkohlenbergbau der DDR – Tagebaue –, Ausg. 1987. – Herausgeg. v. VE Braunkohlenkombinat Senftenberg, Stammbetrieb, Fachbereich Forschung und Entwicklung, HA Grundlagenforschung, Großräschen.

EISSMANN, L., T. LITT (eds.; 1994): Das Quartär Mitteldeutschlands. Ein Leitfaden und Exkursionsführer. Mit einer Übersicht über das Präquartär des Saale-Elbe-Gebietes. – (= Altenburger Naturwiss. Forschungen 7). – Altenburg.

KNAUF, C. (mult. a.): Bodengeologische Kippengutachten für den VEB BKW „Erich Weinert" Deuben (Werksname wurde mehrfach geändert) im Zeitraum 1970 bis 1990. – VEB Geologische Forschung und Erkundung, Halle.

VOGLER, F. (1996): Boden-Dauerbeobachtungsflächen auf Kippenstandorten im Raum Zeitz - Hohenmölsen. Kartierungsbericht 1996. – Dr. Vogler und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Böhlitz-Ehrenberg.

VOGLER, E., F. VOGLER (1998): Zur Repräsentanz von Bodenuntersuchungen auf Kippen mit quartärem Bodenmaterial. – Arch. Acker-Pfl. Boden 43: pp. 145-156.

Tab. 1: Datenblatt zur Zeit-Catena an Kippen-BDF im Revier Profen

BDF-Name	Entstehungszeitraum	Verkippungstechnologie	Alter bei PN	Untersuchungsjahr	Bodentyp	Horizont	OK - UK	PN-Tiefe ungestört	Körnung Feinboden KA 4	Körnung Feinboden TGL	Skelettgehalt	C_{org} (incl. Kohle) [Masse-%]	pH (H_2O)	pH ($CaCl_2$)	Ld [g/cm³]	Gefüge	k_f [cm/s] (Median)
Pirkau 1	1994-1996	Absetzer-Hochschüttung kulturfähigen Materials (ca. 2 m) mit nachfolgender Planierung	0-2 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina	Ap	0-30	3-8	Lu	UL	6,5	0,3	8,3	7,7	1,78	bro	2,02E-02
						II C	30-120/160	70-75	Ut3	lU	0,1	0,4	8,2	7,8	1,92	koh	2,39E-05
						III C	120/160-165+	120-125	Sl4	sL	0,4	0,5	2,6	2,6	1,53	ein + klu	5,93E-03
Pirkau 2	1980-1984	Absetzer-Hochschüttung kulturfähigen Materials (ca. 2 m) mit nachfolgender Planierung	12-16 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina-Pseudogley	Ap-Sw	0-40 (PN 5-10)	5-10	Lu-Ls2	UL-L	0,0	1,4	8,1	7,4	1,61	-10: kru -20: bro	2,21E-03
						Ap-Sw	0-40 (PN 28-33)	28-33	Lu	UL	4,2	0,9	8,0	7,6	1,66	-40: pol (fein), z. T. pla	2,53E-03
						C-Sw	40-150	125-130	Ls3-Ls4	sL	4,8	0,2	8,0	7,6	1,85	koh - pol (grob)	1,21E-05
Profen 4	1970-1972	Absetzerschüttung kulturfähigen Materials (bis 1 m)	24-26 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina, schwach stauvernässt	(Sw-)Ap	0-35	5-10	Sl4	sL	5,2	2,2	7,95	7,4	1,59	kru - bro	1,78E-02
						(Sw-)C	35-90	45-50	Sl4	sL	2,1	1,9	7,85	7,5	1,64	bro + klu	6,55E-03
						II (Sw-)C	90-100/130/150	105-110	Ls3	L	0,1	2,6	3,2	3,1	1,44	ein	1,25E-02
						III (Sw-)C	100/130/150-160+		Ut3	lU	0,0	1,8	6,9	6,8		ein	
Profen 1	1965-1970	Absetzerschüttung quart. Mischmaterials mit nachfolg. Kulturbodenüberzug (80 cm) durch Zugbetrieb in Rückwärtsschüttung	26-31 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina, schwach stauvernässt	Sw-Ap	0-25/35	5-10	Lu	UL	6,1	1,1	8,15	7,5	1,60	pol (fein)	5,01E-03
						Sw-C	25/35-80/105	40-45	Ut4	lU	2,5	0,4	8,5	7,8	1,48	bro + klu	1,77E-03
						II C	80/105-110/130	127-132	Sl3	lIS-l'S	30,1	0,1	8,2	7,9	1,72	ein	7,86E-03
						III C	110/130-165+	160-165	Ut3	lU	0,4	0,4	8,1	7,8	1,61	koh	2,41E-04
Profen 3	1956-1960	Schütttechnologie d. Fläche nicht bekannt; Kulturbodenüberzug (bis 70 cm) wahrsch. durch Rückwärtsschüttung quart. Mischmaterials	36-40 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina, schwach stauvernässt	(Sw-)Ap1	0-15	5-10	Ut4	UL	0,3	1,7	8,0	7,5	1,58	kru	8,25E-05
						(Sw-)Ap2	15-35/42	16-21	Ut4	UL	0,0	1,5	8,05	7,5	1,56	pla + bro	1,32E-04
						(Sw-)C	35/42-70/80	45-50	Ut4	UL	0,2	1,0	8,2	7,6	1,69	koh	1,21E-04
						II (Sw-)C	70/80-160+		Sl3	sL	19,2	1,0	7,65	7,5		ein	
						III (Sw-)C	70/80-160+		St3	lIS	12,9	0,5	8,2	7,7		koh	
						IV (Sw-)C	70/80-160+		Uls	lU	1,4	0,3	7,95	7,7		ein	
Profen 2	vor 1945	Vorwärtsschüttung durch Absetzer m. starrem Ausleger; Kulturbodenüberzug (bis 80 cm) in Handverkippung	> 51 Jahre	1996	Kipp-Pararendzina, schwach stauvernässt	(Sw-)Ap	0-22	5-10	Ut4	UL	0,6	1,4	8,1	7,6	1,53	-15: kru -22: pol (fein)	2,54E-02
						(Sw-)C	22-38/57	23-28	Ut4	UL	1,0	0,4	8,3	7,7	1,60	koh, z. T. bro	6,43E-04
						II (Sw-)C	38/57-60/65	50-55	Lt2	lT	4,3	0,5	8,1	7,5	1,49	koh, z. T. bro	7,88E-03
						III (Sw-)C	60/65-105	90-95	Ut4	UL	0,9	0,6	8,3	7,6	1,62	ein + klu + koh	2,05E-02
						IV (Sw-)C	105-160+	120-125	Lu	UL	2,9	0,2	8,1	7,8	1,66	koh	1,64E-02

Auswertung einer BDF II am Beispiel von Colditz: Reliktgley-Vega aus Auensand über tiefem Fluvikiessand

Frau Dr. Barth, Herr Symmangk, Herr Forberg
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Halsbrücker Str. 31a; 09599 Freiberg
Natalja.Barth@lfug.smul.sachsen.de

Abstract: The BDF IIs (process documentation) can be used as an early warning system for harmful floor changes. They monitor the appearance of special pollutants which can reach over the air path or with precipitation water into the ground, and they monitor the migration of pollutants within the soil.

Zusammenfassung: Die BDF II (Prozessdokumentation) sind als Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen anzusehen. Das Auftreten spezieller Schadstoffe, die über den Luftpfad oder mit Niederschlagswasser in den Boden gelangen können bzw. durch Veränderungen der chemischen Bodenverhältnisse eine Verlagerung erfahren, sind auf diese Weise nachweisbar.

Keywords: Soilmonitoring

Schlagworte: Bodenmonitoring

1. Regionale Lage der BDF Colditz

BDF II sind einzelne Standorte, die wegen ihrer besonderen Bedeutung (Immissionsbelastung, Empfindlichkeit u. ä.) intensiver untersucht und zu diesem Zweck mit Dauermessgeräten instrumentiert werden.

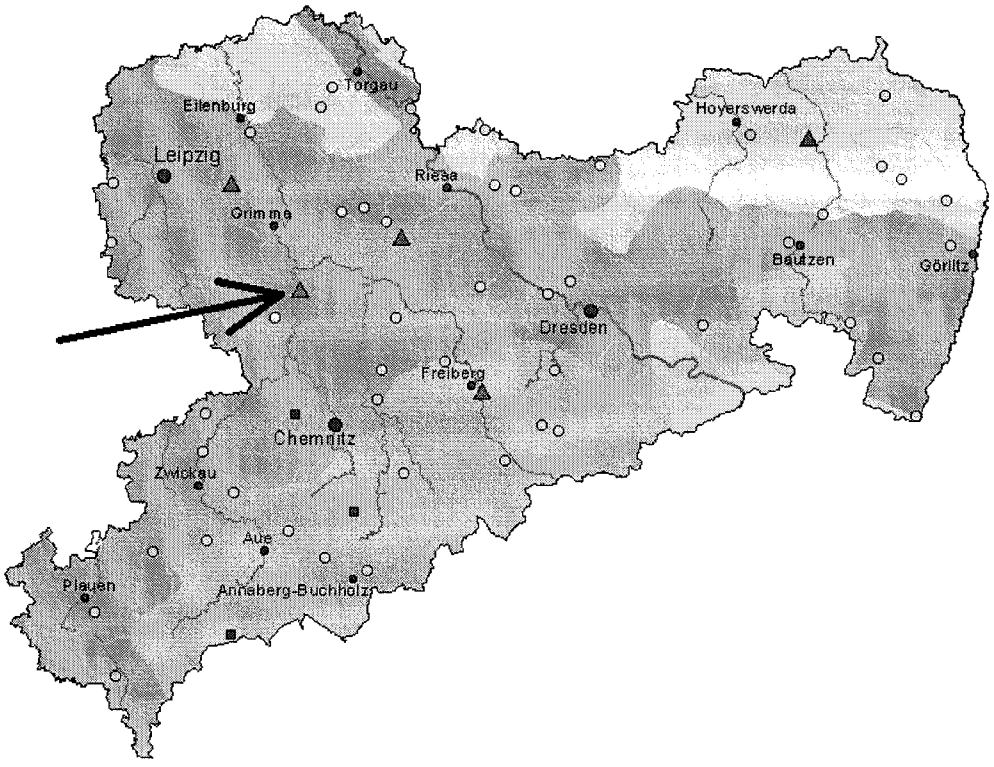
Lage

TK25 - Blatt:	4842 Colditz
Rechtswert:	45570000
Hochwert:	56650000
Höhe über NN:	143 m
mittl. Jahresniederschlag:	750-800 mm
mittl. Jahrestemperatur:	8 °C

Allgemeine Charakteristik

Naturraum:	Mulde-Lößhügelland
Geologie:	Löß, Lößlehm
Bodenregion:	Boden der Löß- und Sandlößlandschaften
Bodengroßlandschaft:	Mulde-Lößhügelland
Leitbodengesellschaft:	Vega, Gley und Auengley aus Fluviton, -lehm, -schluff oder -sand über Fluvigeröll

Verbreitung: Diese Leitbodengesellschaft nimmt ca. 6% der Fläche Sachsens ein. Sie ist entlang der Flüsse verbreitet.



2. Untersuchungsumfang

Erfasste Parameter bei allen BDF

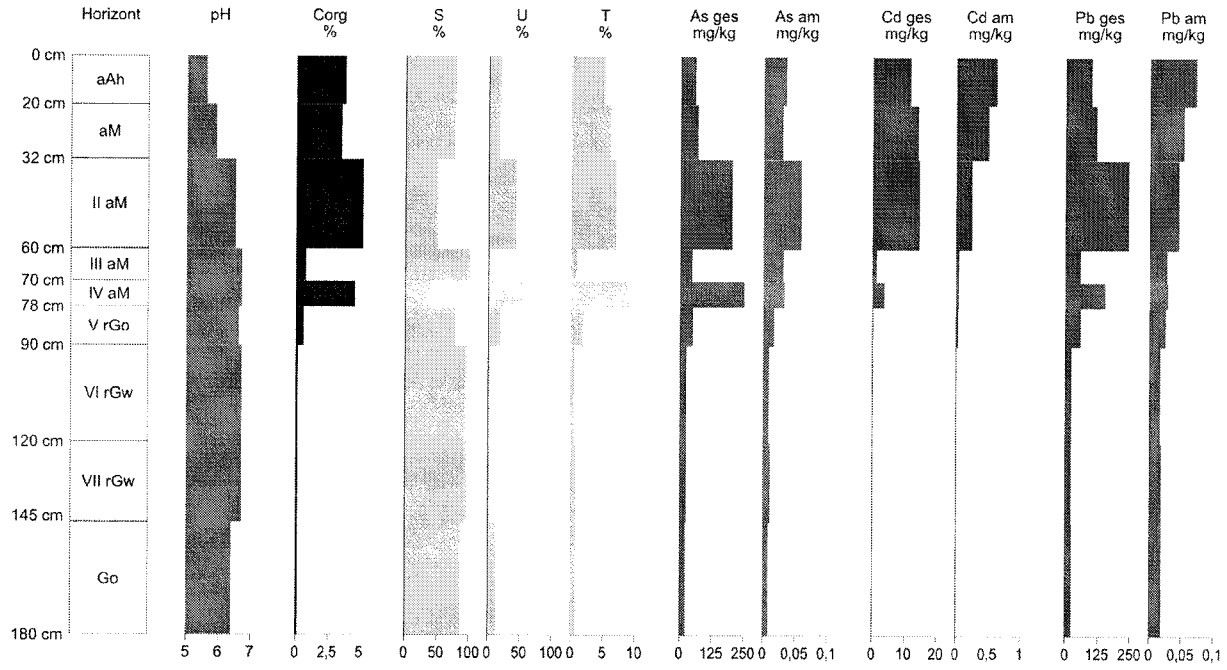
Allgemeine Charakterisierung	**Bodenphysikalische Eigenschaften**	**Bodenchemische Eigenschaften**
• Bodenregion • Bodenform • Bodentyp • Substrat • Naturraum • Klima	• Korngrößenzusammensetzung • Wasserdurchlässigkeit • Rohdichte • Gesamtporenvolumen • Grob-, Mittel-, Feinporen	• pH-Wert • potentielle und effektive Austauschkapazität (KAKpot, KAKeff) • Gesamtgehalte von Hauptelementen: Fe, Al, K, Na usw. • Gesamtgehalte von Schwermetallen: Cd, Cr, Pb usw. und As • Gesamtgehalte von Nichtmetallen: C, N, F, PO_4, SO_4, CO_3 • mobile Anteile von Schwermetallen und As (Extraktion) • pflanzenverfügbare Nährstoffe (K, P usw.)

Erfasste BDF II-Parameter

Oberirdisch	**Unterirdisch**
Meteorologie: • Globalstrahlung • Luftfeuchtigkeit • Lufttemperatur • Windgeschwindigkeit • Windrichtung • Niederschlagsmenge	Bodenphysikalische Parameter: • Bodentemperatur ausgewählter Horizonte • Wassersaugspannung ausgewählter Horizonte • Wassergehalt ausgewählter Horizonte
Stoffeinträge aus der Atmosphäre: • Niederschlagsmenge • Hauptelemente, Schwermetalle	Stoffinhalte des Bodensickerwassers: • pH, elektrische Leitfähigkeit • Hauptelemente, Schwermetalle

Auf BDF II werden zusätzlich die mikrobiellen Bodenparameter und Pflanzeninhaltsstoffe bestimmt.

3. Ausgewählte physikalisch-chemische Parameter des Bodenprofiles



Erläuterung: Element ges: Elementgehalt total, nach RUPPERT
Element am: Elementgehalt in NH_4NO_3-Auszug nach DIN 19730

Horizont	Bodenart	pH	Corg %	KAKpot $cmol_c/kg$	H-Wert $cmol_c/kg$	S-Wert $cmol_c/kg$	BS %
aAh	Su2	5,6	3,8	18	5,3	13	71
aM	Sl2	5,9	3,5	17	5,5	12	68
II aM	Slu	6,5	5,2	22	5,0	17	77
III aM	Ss	6,7	0,8	4,6	1,0	3,6	78
IV aM	Uls	6,7	4,6	20	4,3	16	79
V rGo	Su2	6,6	0,6	6,5	2,0	4,5	69

Bewertung des Standortes:

Humus: in den oberen Horizonten mit Corg=3,8% mittel humos, C/N-Verhältnis in den aM-Horizonten relativ eng (10 - 20)

Austauschkapazität: in den aM-Horizonten mit 18 - 22 $cmol_c/kg$ hoch bis sehr hoch (Ausnahme III aM); ab Horizont V rGo mit 6,5 $cmol_c/kg$ gering

Basensättigung: in den aM-Horizonten bis zum V rGo-Horizont mit 68 - 79% basenreich

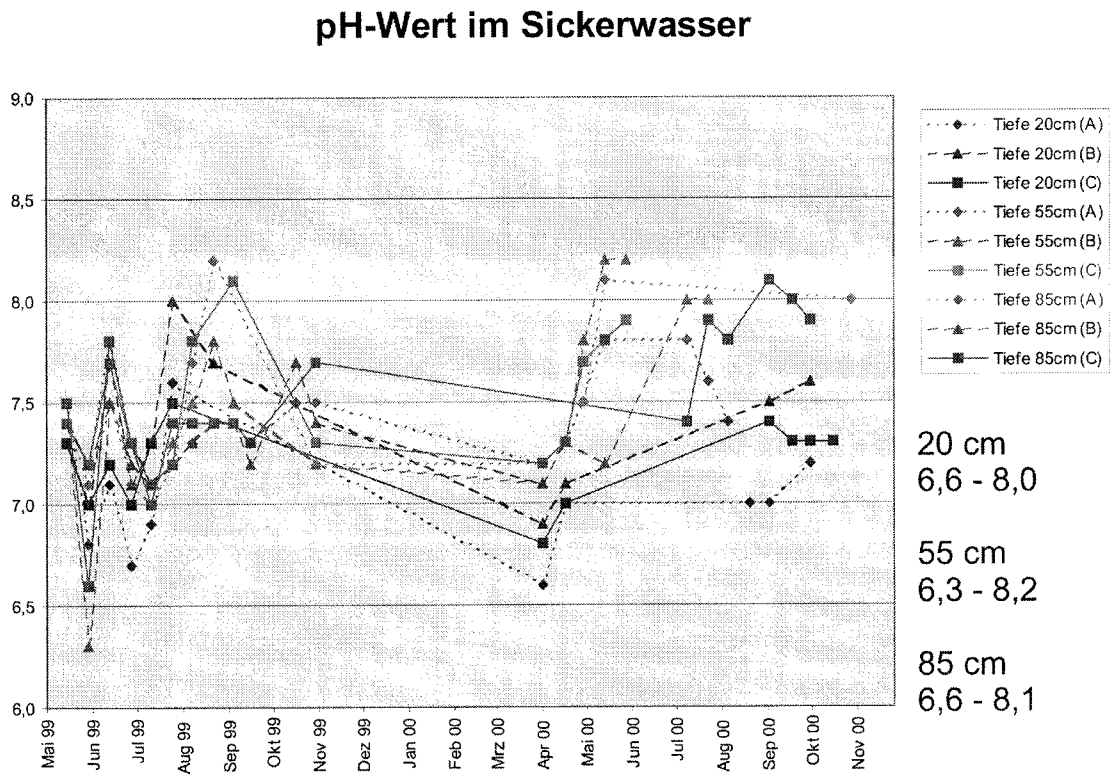
Nährstoffe: nährstoffreich

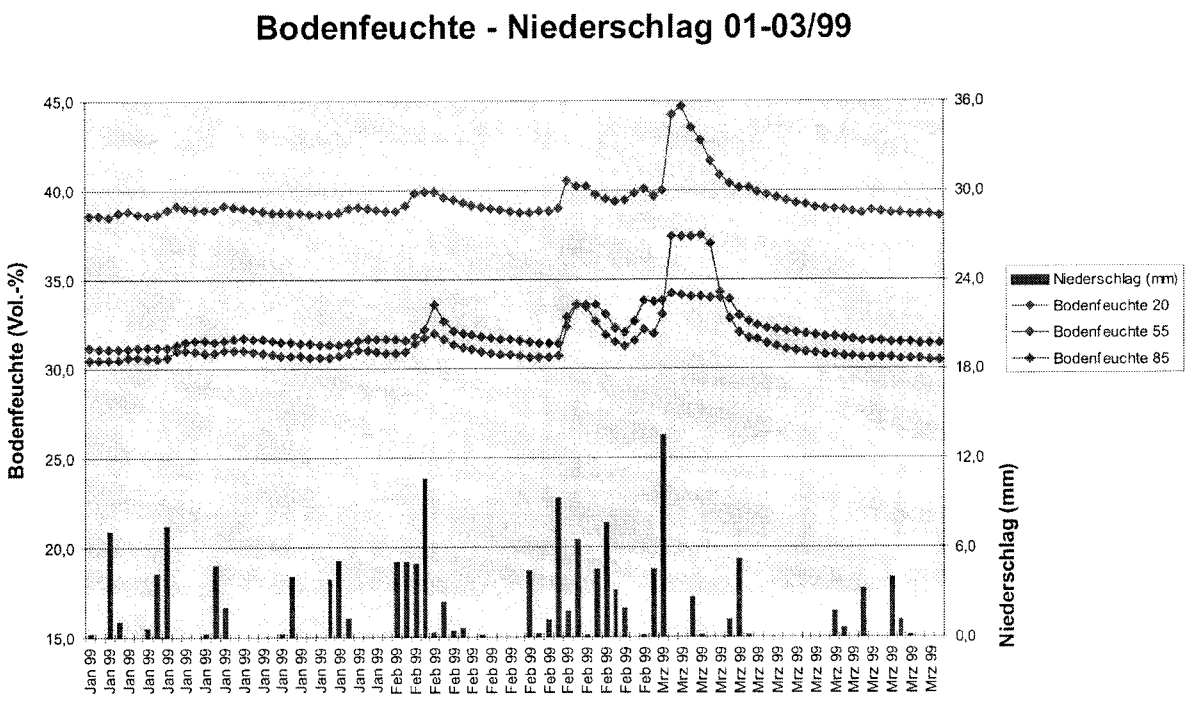
Wasser: mittlere nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes; sehr hohe bis äußerst hohe Wasserdurchlässigkeit

Luft: in den oberen Horizonten gut bis sehr gut durchlüftet

Wärme: mäßig warmer Boden

4. Ausgewählte physikalisch-chemische Parameter des Sickerwassers





5. Schlußfolgerung

- Die Mannigfaltigkeit und Vielzahl der erhobenen Daten erlauben eine eingehende Charakterisierung des Standortes und des Bodenzustandes.
- Die zeitliche Entwicklung bestimmter Zustandsgrößen gestattet Aussagen zur zukünftigen Entwicklung bestimmter Bodenparameter.
- Die Ergebnisse zu den Elementgehalten im Bodensickerwasser und zur Modellierung des Bodenwasserhaushaltes sind als wesentliche Grundlage für die Abschätzung der zukünftigen Sickerwasserbelastung zu sehen.

6. Literatur

BARTH, N.; DEGERING, D.; HAASE, D.; HAFERKORN, U.; HEILMANN, H.; KLOSE, R.; KNAPPE, S.; KURZER, H. J.; MACHULLA, G.; MATTUSCH, J.; NEUBERT, K. H.; PÄLCHEN, W.; RABEN, G. H.; RANK, G.; SCHLENKER, S.; SCHNEIDER, B.; SUNTHEIM, L.; WENNRICH, R (2001): Bodenmonitoring in Sachsen. Materialien zum Bodenschutz.- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Sächsische Landesanstalt für Forsten, Dresden.

Versauerung und Stickstoffsättigung an Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

Dr. Joachim Block
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt
e-mail: block@rhrk.uni-kl.de

Abstract: At 19 permanent forest soil observation plots in Rhineland-Palatinate dynamics of acidification, N-saturation and nutrient availability are assessed. On most of the plots the soil solution shows characteristics of an anthropogenically caused soil acidification – high SO_4^{--} and Al^{+++} concentration, negative alkalinity, high Ma %, low Ca: Al- and Bc: Al-ratio. At 8 plots nitrate output via soil seepage water exceeds 5 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. These plots can be considered as N-saturated.

Zusammenfassung: An 19 in den Jahren 1989 bis 1991 in Rheinland-Pfalz eingerichteten Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen werden Veränderungen im chemischen Bodenzustand insbesondere im Hinblick auf Bodenversauerung, Nährstoffverarmung und Stickstoffsättigung verfolgt. An der Mehrzahl der Standorte zeigt die Bodenlösung mit hohen SO_4^{--} - und Al^{+++}-Konzentrationen sowie einer negativen Alkalinität, einem hohen Aziditätsgrad und niedrigen Ca/Al- und Bc/Al-Verhältnissen Merkmale einer anthropogen verursachten Versauerung. 8 Standorte weisen Nitratausträge von mehr als 5 kg N/ha · Jahr auf und können daher als stickstoffgesättigt angesehen werden.

Keywords: forest soil, acidification, nutrient availability, nitrogen saturation
Schlagworte: Waldboden, Säurestatus, Nährstoffverfügbarkeit, Stickstoffsättigung

1 Einleitung, Ziele

Selbst unter weitgehend naturnaher Bestockung und ohne unmittelbare Eingriffe wie Bearbeitung oder Düngung unterliegen unsere Waldböden äußeren Einwirkungen, die zumindest mittel- bis langfristig zu Veränderungen im chemischen Bodenmilieu führen werden. Vor allem die meist weit über den critical loads liegenden Einträge an versauernden und an eutrophierend wirkenden Luftschadstoffen (BECKER et al. 2000) lassen eine allmähliche Standortstrift in Richtung Bodenversauerung und Stickstoffsättigung erwarten.
Um diese Veränderungen im Bodenzustand bei weitgehendem Ausschluss störender Bewirtschaftungseinflüsse (z.B. Befahrung, Düngung) langfristig verfolgen zu können, wurden zwischen 1989 und 1991 in Rheinland-Pfalz 19 Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Die Untersu-

chungen an diesen Flächen sollen das aktuelle Nähr- und Schadstoffpotential in den Waldböden und die momentane Gefährdungs- und Belastungssituation des Waldbodens aufzeigen und werten. Über periodische Festphasebeprobungen und kontinuierliche Bodenlösungsanalysen sollen Veränderungen in den wesentlichen Bodenkennwerten möglichst zeitnah erfasst werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Grundlage für die Ableitung von situationsangepassten und zielorientierten Bodenschutzmaßnahmen dienen.

2 Flächenauswahl und Standortskonzept

Die Bodendauerbeobachtungsflächen wurden gezielt in Waldökosystemen eingerichtet, die hinsichtlich des Standorts, der Bestockung und der Immissionsbelastung für große Waldareale des Landes charakteristisch sind. Alle Bodendauerbeobachtungsflächen wurden in andere waldökologische Untersuchungen (insbesondere Kronenzustands- und Bodenvegetationsdauerbeobachtung, Nadel-/Blattanalysen, Immissions- und Depositionsmessungen) integriert, da hierdurch eine ökosystemare Interpretation der Ergebnisse erleichtert wird. 7 Dauerbeobachtungsflächen sind in das europäische Level II-Programm eingebunden.

Tabelle 1: Untersuchungsparameter der rheinland-pfälzischen Waldbodendauerbeobachtungsflächen	
Bodenfestphase:	
1.	Stoffgehalte und Stoffvorräte in der Humusauflage (Trockensubstanz, C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Al, Pb, Cu, Cd, Zn, pH_{KCl}, pH_{CaCl2}); HNO_3-Druckaufschluss; bei Level II-Standorten auch Königswasseraufschluss
2.	Stoffgehalte und Stoffvorräte im Mineralboden (Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-30, 30-60, 60-90, möglichst auch 90-140 cm; jeweils Feinbodenmenge C, N, P, KAKeff, austauschbare Kationen H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al (NH_4Cl-Perkolation); Schwermetalle Zn, Cu, Cd, Pb im EDTA-Auszug; pH_{CaCl2}
3.	Oxid- und Mineralgehalte (RFA, Roentgendiffraktometrie)
Bodenlösungsphase	
1.	Stoffgehalte des Sickerwassers aus 2 bis 3 Mineralbodentiefen (pH, DOC, Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, NH_4, orgN, NO_3, Cl, SO_4, PO_4, Al, Mn, Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, As)
2.	Sickerraten in mm (mit Richards-Modellen kalkulierte Werte für 5 Standorte)
Physikalische Bodencharakteristika	
1.	Korngrössenverteilungen, Trockenraumdichte, spezifisches Gewicht, Porenvolumen, gesättigte Wasserleitfähigkeit
2.	PF-Kurven (nur ausgewählte Standorte)
3.	Grundwasser-Pegelstände (nur bei grundwassernahen Standorten)

Jede Dauerbeobachtungsfläche besteht aus einer 50x50 m großen Kernfläche mit einem systematischen 24 Punkte-Beprobungsraster für die Humusauflage und bis zu 6 Mineralbodentiefenstufen. Im

Umfassungsstreifen dieser Kernfläche ist ein Bodenprofil angelegt. Zudem finden hier Sickerwasserbeprobungen in zwei bis drei Tiefen mit mindestens 6 keramischen Saugkerzen je Einbauebene statt. Beprobungen der Bodenfestphase erfolgten bei der Anlage der Flächen und zusätzlich im Jahr 1996. Sickerwasseranalysen werden seit Herbst 1991, an zwei Flächen bereits seit Herbst 1986 durchgeführt. Eine Auflistung der Untersuchungsparameter enthält Tabelle 1.

3 Ausgewählte Befunde der Bodenfestphase und Bodenlösungsuntersuchungen

Befunde der Bodenfestphaseuntersuchungen können vor allem zu Charakterisierung der ökochemischen Rahmenbedingungen und zur Ableitung des Nähr- und Schadstoffpotentials der Standorte herangezogen werden (BLOCK et al. 2000). Zur Beschreibung des Säure/Base-Status, der Stickstoffsättigung und möglicher chemischer Stressrisiken für Bodenorganismen und Wurzeln sind Bodenlösungskennwerte besser geeignet.

3.1 Nährelementstatus

Zur Bewertung der aktuellen Nährstoffversorgung sind die Nährstoffkonzentrationen in der Bodenlösung und vor allem Nährstoffgehalte in den Nadeln bzw. Blättern aussagefähiger als Kennwerte der Bodenfestphase. Allerdings lassen sich aus kapazitativen Kenngrößen (Nährstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden) Rückschlüsse auf die mittel- bis langfristige Verfügbarkeit und potentielle Risiken zukünftiger Nährstoffengpässe und Nährstoffungleichgewichte ableiten (BLOCK et al. 2000, AK Standortskartierung 1996). Die Stickstoffvorräte im Wurzelraum der Dauerbeobachtungsflächen variieren zwischen 3,4 und 15,7 t N/ha (Tab.2). Nach dem Bewertungsschema des Arbeitskreises Standortskartierung (1996) sind die N-Vorräte an der Mehrzahl der Standorte als mittel bis hoch und nur an 3 Standorten als gering (< 5 t/ha) einzuwerten. Nur an einem Standort fällt ein geringer N-Vorrat mit einem weiten C/N-Verhältnis (> 25) zusammen. Hier sind gegebenenfalls Engpässe in der N-Versorgung zu erwarten.

Da Phosphor im Boden in verschiedenen Bindungen mit sehr unterschiedlicher Bioverfügbarkeit vorkommt, kann aus den Gesamtgehalten im Säureaufschluss nur unzureichend auf die Phosphorverfügbarkeit geschlossen werden. Die P-Vorräte liegen an den Dauerbeobachtungsflächen zwischen 0,6 und 4,0 t P/ha. An 5 Standorten treffen geringe Vorräte von unter 1,5 t/ha und mäßig weite C/P-Verhältnisse über 500 zusammen. Hier besteht möglicherweise ein Risiko von Engpässen in der P-Versorgung.

Tabelle 2: Stickstoff- und Phosphor-Vorräte, sowie C/N- und C/P-Verhältnisse an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen

Dauerbeobachtungsfläche/Baumart	Vorräte bis Tiefe cm	N t/ha	P t/ha	C/N	C/P
Wallmerod/Fichte	60	12,2	2,3	24	322
Schaidt/Eiche	90	7,7	2,0	15	148
Neuhäusel-Bims/Buche	90	15,7	4,8	16	86
Schaidt/Kiefer	90	5,2	1,1	25	520
Neuhäusel-Quarzit/Buche	90	12,1	4,0	17	101
Johanniskreuz/Kiefer	90	4,6	0,6	31	598
Hermeskeil/Fichte 1	90	8,9	2,1	25	391
Hermeskeil/Fichte 2	60	10,6	1,9	25	357
Schneifel/Fichte	90	7,0	2,3	24	394
Adenau/Fichte	90	7,6	1,0	27	533
Idar-Oberstein/Fichte	90	7,7	1,4	28	543
Morbach/Fichte	90	6,2	1,0	26	506
Schneifel/Buche	60	6,7	1,8	15	79
Merzalben/Eiche	90	6,1	1,7	19	138
Kirchheimbolanden/Buche	90	4,1	1,1	19	131
Waldmohr/Buche	60	3,4	1,5	18	69

Die Vorräte an austauschbaren und organisch gebundenem Calcium, Magnesium und Kalium sind an der Mehrzahl der Beobachtungsflächen nur gering. Dies gilt insbesondere für den Magnesiumvorrat, der zudem gerade auf den schwach bevorrateten Standorten häufig zu hohen Anteilen in der Humusauflage konzentriert ist (Tab. 3). Die Vorräte in der Humusauflage sind sehr labil und fallen zudem in Trockenphasen für die Baumernährung aus. Auf versauerungsgefährdeten, magnesiumarmen Standorten wird daher eine Bodenschutzkalkung mit Mg-reichem Dolomit empfohlen (BLOCK et al. 1997).

Tabelle 3: Vorrat an austauschbarem (Mineralboden) bzw. säurelöslichem (Humusauflage) Magnesium bis 60 bzw. 90 cm Profiltiefe und Bewertung im Hinblick auf die kurz- bis mittelfristige Mg-Verfügbarkeit für die Waldbäume

Dauerbeobachtungs-fläche/Baumart	**bis Tiefe** [cm]	**Magnesiumvorrat** [kg/ha]	**davon in der Humusauflage** [%]	**Bewertung**
Wallmerod / Fichte	60	2619	6	sehr hoch
Schaidt / Eiche	90	1727	< 1	hoch
Neuhäusel / Buche 1	90	294,2	4	mittel
Schaidt / Kiefer	90	231,8	19	mittel
Neuhäusel / Buche 2	90	230,0	6	mittel
Johanniskreuz / Kiefer	90	105,9	86	gering (mittel)
Hermeskeil / Fichte 1	90	98,6	70	gering
Hermeskeil / Fichte 2	90	98,0	67	gering
Schneifel / Fichte	90	94,0	79	gering
Adenau / Fichte	90	88,1	78	gering
Idar-Oberstein/ Fichte	90	88,0	76	gering
Morbach / Fichte	90	75,0	76	gering
Schneifel /Buche	60	73,0	30	gering
Merzalben / Eiche	90	47,3	38	sehr gering
Kirchheimbolanden/Buche	90	42,1	12	sehr gering
Waldmohr / Buche	60	29,3	46	sehr gering

3.2 Säurestatus

Der Säure-Base-Zustand eines Bodens kann vor allem anhand der Zusammensetzung der Bodenlösung in unterschiedlichen Tiefen und hieraus abgeleiteter Indizes charakterisiert werden. Bei zwei Dritteln der rheinland-pfälzischen Untersuchungsstandorte muss die Bodenlösung im unteren Wurzelraum als „anthropogen versauert" (vgl. KÖLLING und VON WILPERT 2000) bezeichnet werden. Sie ist durch hohe Konzentrationen der mobilen Anionen SO_4^{--} und NO_3^- sowie an Ma-Kationen geprägt. Das weit überwiegend aus der Luftschadstoffdeposition stammende SO_4 nimmt in diesen Bodenlösungen meist mehr als zwei Drittel der Anionensumme ein. Auf der Kationenseite dominieren aus der Tonmineralzerstörung stammende Aluminiumionen. Durch das Vorherrschen von Säurekationen, vor allem Al^{+++}, gegenüber den Neutralkationen (Synonym: Basekationen) ist die Alkalinität (berechnet als Äquivalentsumme von Basekationen, die nicht durch mobile Anionen starker Säuren begleitet werden, vgl. BLOCK et al. 2000) deutlich negativ. Der Aziditätsgrad (Anteil der Säurekationen an der Summe aller Kationen ohne NH_4^+, vgl. ULRICH 1988) beträgt mehr als 40 % (Tab. 4).

An diesen Standorten liegen in der Regel die Aluminium-bezogenen Stresskennwerte (Ca/Al- bzw. Bc/Al-Verhältnisse) unter 1 und damit in einem Bereich, in dem Wurzelschäden durch Aluminiumtoxizität oder Probleme in der Aufnahme von Basekationen möglich sind (BLOCK u. MEIWES 2000).

Tabelle 4: Kennwerte des Säure-/Basezustandes der Bodenlösung aus dem unteren Wurzelraum von 19 Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz (Mittelwerte des Zeitraumes Nov. 1991 – Juli 2001)

Standort	Alkalinität [$mmol_c \cdot l^{-1}$]	Aziditätsgrad [%]	Ca/Al [$mol \cdot mol^{-1}$]	Bc/Al [$mol \cdot mol^{-1}$]
Schaidt (Kiefer)	- 1,2	81	0,1	0,3
Morbach (Fichte)	- 0,7	67	0,2	0,6
Idar-Oberstein, ungekalkt (Fichte)	- 0,4	71	0,2	0,5
Hermeskeil (Fichte 1)	- 0,5	76	0,1	0,3
Adenau (Fichte)	- 0,7	65	0,4	0,8
Merzalben, ungekalkt (Eiche)	- 0,3	63	0,3	0,9
Johanniskreuz (Kiefer)	- 0,1	63	0,2	0,8
Hermeskeil (Fichte 2)	- 0,3	55	0,6	1,7
Laubach (Fichte)	- 1,2	70	0,3	0,6
Schneifel (Fichte)	- 0,4	53	1,6	2,1
Neuhäusel, Quarzit (Buche)	- 0,2	51	2,6	3,9
Idar-Oberstein, gekalkt (Fichte)	- 0,2	45	0,3	2,1
Merzalben, gekalkt (Eiche)	- 0,1	26	0,9	6,8
Kirchheimbolanden (Buche)	- 0,2	32	10,5	15,0
Waldmohr (Buche)	- 0,2	39	3,6	6,9
Neuhäusel, Bims (Buche)	+ 0,02	2	74	> 100
Wallmerod (Fichte)	+ 0,2	1	> 100	> 100
Schneifel (Buche)	+ 0,3	2	> 100	> 100
Schaidt (Eiche)	+ 1,1	0	> 100	> 100

Eine orientierende Al-Speziation an einer Reihe von Bodendauerbeobachtungsflächen zeigte bei Bodenlösungen aus dem unteren Wurzelraum nur geringe Anteile an organisch gebundenem Aluminium. Die Herleitung der Stresskennwerte erscheint für diese Bodenlösungen daher auch aus Gesamt-Al-Analysen gerechtfertigt.

Aus den Sickerwasseranalysen können wesentlich rascher als aus Festphaseuntersuchungen Hinweise auf zeitliche Entwicklungen abgeleitet werden. So zeigen an der Mehrzahl der Standorte die SO_4-Konzentration im Sickerwasser in den letzten eineinhalb Jahrzehnten einen abwärtsgerichteten Trend (siehe Beispiel in Abb. 1), der auf den Rückgang der Schwefeldeposition zurückzuführen sein dürfte.

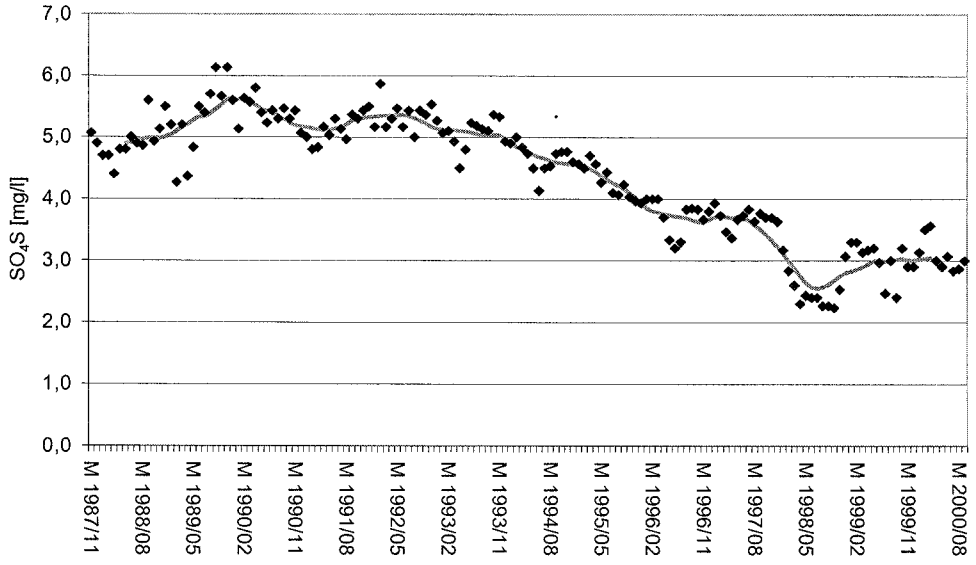


Abbildung 1: Verlauf der Sulfatschwefelkonzentration im Sickerwasser aus 60 cm Tiefe am Standort Merzalben. Punkte: Monatsmittelkonzentrationen; durchgezogene Linie: gleitendes 12-Monatsmittel

3.3 Stickstoffsättigung

An nahezu allen rheinland-pfälzischen Messstandorten überschreiten die Stickstoffeinträge die critical loads für eutrophierenden Stickstoff (Abb. 2) und lassen daher eine zunehmende Stickstoffsättigung erwarten. An 12 der 19 Dauerbeobachtungsflächen liegen die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aus dem unteren Wurzelraum über 1 mg N/l (Tab. 5). An 8 Standorten führt dies im Mittel der letzten 10 Jahre zu Stickstoffausträgen über 5 kg N/ha (Stickstoffsättigung auf niedrigem Niveau). Bei einem Standort werden nahezu 40 kg N/ha ausgetragen (Stickstoffsättigung auf hohem Niveau).

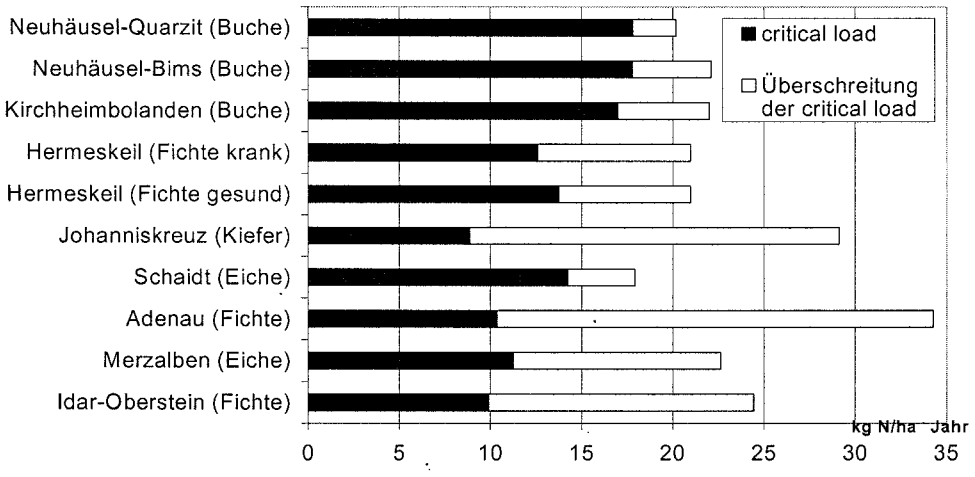


Abbildung 2: Critical loads für eutrophierende Stickstoffeinträge* und Überschreitung der critical loads durch die Gesamtstickstoffdeposition im Mittel des Zeitraumes 1992-2000

*Kalkulation: Dr. R. Becker, Öko-Data GmbH

Tabelle 5: Konzentrationen der Komponenten Nitrat-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff und organisch gebundenem Stickstoff in der Bodenlösung aus dem unteren Wurzelraum von 19 Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz (Mittelwerte des Zeitraumes November 1991 – Juli 2001)

Standort	NO_3-N mg/l	NH_4-N mg/l	Norg mg/l
Wallmerod (Fichte)	8,98	0,10	1,68
Laubach (Fichte)	4,92	0,07	0,22
Neuhäusel, Bims (Buche)	3,32	0,04	0,14
Schneifel (Fichte)	3,03	0,09	0,28
Hermeskeil (Fichte 1)	2,14	0,07	0,26
Kirchheimbolanden (Buche)	2,09	0,05	0,32
Merzalben, ungekalk (Eiche)	1,78	0,03	0,13
Adenau (Fichte)	1,57	0,10	0,38
Morbach (Fichte)	1,50	0,06	0,19
Hermeskeil (Fichte 2)	1,21	0,15	0,35
Merzalben, gekalkt (Eiche)	1,18	0,07	0,12
Idar-Oberstein, gekalkt (Fichte)	1,01	0,04	0,22
Schaidt (Kiefer)	0,85	0,06	0,63
Waldmohr (Buche)	0,82	0,04	0,25
Neuhäusel, Quarzit (Buche)	0,60	0,04	0,09
Idar-Oberstein, ungekalkt (Fichte)	0,32	0,04	0,16
Schneifel (Buche)	0,23	0,06	0,24
Johanniskreuz (Kiefer)	0,11	0,06	0,27
Schaidt (Eiche)	0,09	0,04	0,16

Ein einheitlicher zeitlicher Trend ist bei den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser nicht zu erkennen. Einige Standorte zeigen sehr ausgeprägte, ereignisbezogene Verläufe. So führte am Standort Merzalben eine starke Zunahme der Kronenschäden des Eichenbestandes (mittlerer Blattverlust 1988: 10 %, 1997: 60 %) gekoppelt mit Kahlfraß durch Schmetterlingsraupen (*Operophtera brumata* ***L.*** u.a.) in den Jahren 1996 bis 1997 zu einem deutlichen Anstieg der Nitratstickstoffkonzentrationen (Abb. 3). Offenbar waren die geschwächten Eichen nicht mehr in der Lage, den mit der atmogenen Deposition eingetragenen und den durch die Auflichtung des Kronendachs im Boden vermehrt freigesetzten Stickstoff vollständig aufzunehmen.

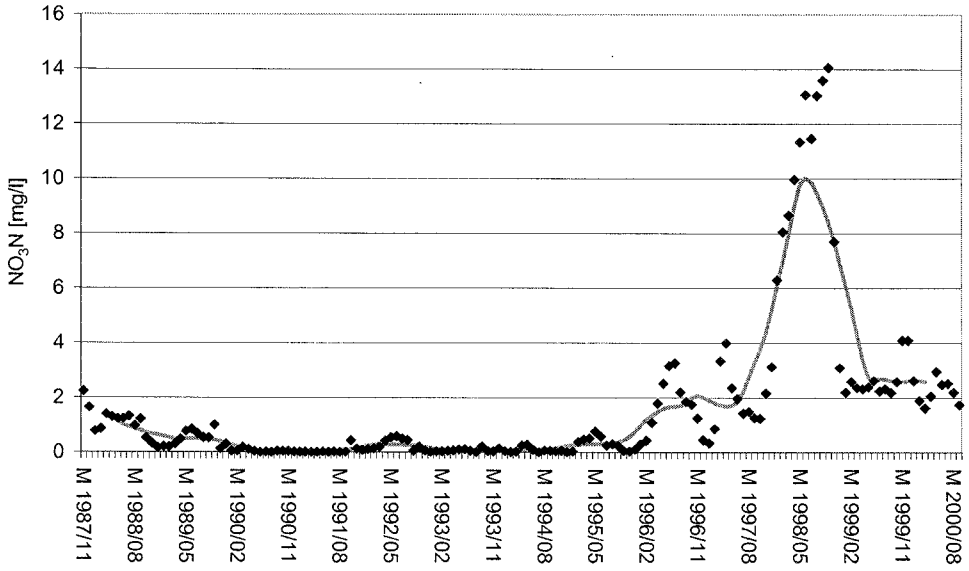


Abbildung 3: Verlauf der Nitratstickstoffkonzentrationen im Sickerwasser aus 60 cm Tiefe am Standort Merzalben

4 Schlussfolgerungen

An den Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen lassen sich vor allem aus den Lösungsphaseuntersuchungen wesentliche Hinweise auf den aktuellen Säure-Base-Status und den Stickstoffstatus der Ökosysteme herleiten. Während sich die Reduktion der Schwefeldeposition in einer Abnahme der Sulfatkonzentration im Sickerwasser wiederspiegelt, sind die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung offenbar so stark von systeminternen Prozessen überlagert, dass keine einheitliche Reaktion auf die Depositionsverläufe erkennbar ist.

Der ungünstige Säurestatus der Waldböden und die angespannte Basekationen- vor allem Mg) Verfügbarkeit machen weiterhin Bodenschutzkalkungen mit Mg-reichem Dolomit erforderlich. Einer Zunahme der Stickstoffsättigung kann nur durch weitere N-Emissionsminderung vor allem aus den Bereichen Landwirtschaft und Verkehr entgegengewirkt werden.

5 Literatur

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1996): Forstliche Standortsaufnahme, IHW-Verlag Eching bei München.

BECKER, R., BLOCK, J., SCHIMMING, C.-G., SPRANGER, T., WELLBROCK, N. (2000): Critical load-Kalkulationen an Level II-Dauerbeobachtungsflächen. Forstarchiv 71, 2: 54-58.

BLOCK, J., ROEDER, A., SCHÜLER, G. (1997): Waldbodenrestauration durch Aktivierung ökosystemarer Nährstoffkreisläufe. AFZ/Der Wald 1: 29-33.

BLOCK, J., MEIWES, K.-J. (2000): Verwendung von Indikatoren für Aluminiumstress im Rahmen des Level II-Programms, Forstarchiv 71, 2: 44-48.

BLOCK, J., EICHHORN, J., GEHRMANN, J., KÖLLING, C., MATZNER, E., MEIWES, K.J., WILPERT v. K., WOLFF, B. (2000): Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), (Hrsg.), Bonn, Arbeitskreis C der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Level II: 167 S.

KÖLLING, CH., WILPERT, v. K. (2000): Kennwerte zum Säurestatus der Bodenlösung. Forstarchiv 71, 2: 49-54.

ULRICH, B. (1988): Ökochemische Kennwerte des Bodens. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151: 171-176.

Bodendauerbeobachtung in Hessen
Am Beispiel der Intensiv-BDF Frankfurt/M Flughafen

Karl-Heinz Emmerich, Ulrich Drolshagen, Dagmar Fritzsch, Katrin Lügger & Sybille Stern
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Postfach 3209, 65022 Wiesbaden
e-mail: **k.emmerich@hlug.de**

Abstract: *Since 1991 in Hessen 67 long term soil monitoring areas were established. In the case of Frankfurt/M airport an intensive monitored area is analyzed with regard to typical trace substance content in soil and soil water. The contents are characteristic for congested area of the Rhine-Main area. An expected increased pollution according to background levels (LABO 1998) was not found, even though the monitored area is next to the airport.*

Zusammenfassung: *Seit 1991 wurden hessenweit 67 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet. Am Beispiel der Intensiv-BDF Frankfurt/M wird hier auf typische Spurenstoffgehalte im Boden und Bodenwasser eingegangen. Die Stoffgehalte sind charakteristisch für Ballungszentren im Rhein-Main-Gebiet. Eine erwartete Überschreitung der Hintergrundwerte (LABO 1998) aufgrund der Flughafennähe ist nicht aufgetreten.*

Keywords: long term soil monitoring, congested area, organic and inorganic trace substances,
Schlagworte: Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung, Ballungsraum, org. Stoffgehalte, anorg. Stoffgehalte

1. Einleitung

Die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche (BDF) Frankfurt/M Flughafen befindet sich in unmittelbarer Nähe der Startbahn 18 West des Frankfurter Rhein-Main Flughafens.
Die Untermainebene ist durch den Oberrheingraben und seine nördlichen Randsenken geprägt. Noch im Quartär kam es zu Absenkungen, so dass das Gebiet sich zur Aufschüttungslandschaft mit geringen Höhenunterschieden entwickelte. Den größten Höhenunterschied stellt die Geländekante der „Kelsterbacher Terrasse" dar, auf welcher die Untersuchungsfläche liegt. Der Untergrund besteht aus pleistozänen Kiesen und Sanden. Die Oberfläche der Terrasse ist eben, wird aber an vielen Stellen von Dünen überragt. Der Flugsand ist großflächig solifluidal verlagert und enthält Lössbeimischungen.
Der Boden, ein podsoliger Braunerde-Gley ist typisch für den Bereich der Kelsterbacher-Terrasse. Der Boden ist sehr stark sauer, der pH-Wert liegt schon im Al/Fe-Pufferbereich. Entsprechend ist auch die Austauschkapazität gering. Die Ionenverteilung zeigt, dass der Anteil basischer Kationen niedrig ist. Der höchste Grundwasserstand lag bei 63 cm, der tiefste bei 255 cm unter der Geländeoberfläche.
Die hohe Durchlässigkeit, der niedrige pH-Wert und der geringe Grundwasserflurabstand lassen eine rasche Auswaschung von Stoffen erwarten.
Die Vegetation, ein lichter Kiefern-Eichen-Mischwald mit Drahtschmiele und Pfeifengras in der Krautschicht, entspricht den nährstoffarmen, feuchten Standortbedingungen.
Nach der Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsfläche im Jahre 1992 wurden 1997 und 2001 erneut Bodenproben entnommen. In diesem Zeitraum wurde zusätzlich die nasse Deposition im Freiland (2x5 Niederschlagssammler) und im Bestand, (10 Niederschlagssammler) sowie das Bodensickerwasser im Humus (16 Kleinlysimeter), in 20 cm, 50 cm, 80 cm und 120 cm Tiefe (jeweils 6 Saugkerzen und Tensiometer) und das Grundwasser zunächst in zweiwöchigen später in monatlichen Intervallen auf anorganische Spurenstoffe untersucht. Windbruch hat in den vergangenen Jahren zu einer starken Auslichtung des Baumbestandes an der Messfläche geführt, so dass einzelne Regensammler nicht unter Baumkronen stehen und interzeptionsfreien Niederschlag auffangen können.

2. Ergebnisse

Organische Spurenstoffe

Auf hessischen Boden-Dauerbeobachtungsfläche werden die folgende organische Spurenstoffe im Boden bestimmt: chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), polychlorierte Biphenyle (PCB), polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Dioxine/Furane (PCDD/F). Die Gehalte der organischen Spurenstoffe liegen im Bereich der Hintergrundwerte für Oberböden in Hessen. Es zeigt sich ein allgemein abnehmender Trend (Abb. 1, Abb. 2). Auf Grund der geringen Datenmenge sind die Änderungen jedoch nicht statistisch abgesichert. Über den Verbleib (Umbau oder Verlagerung) können z.Zt. keine Aussagen gemacht werden (s.a. SCHLEYER et al. (1996)). Allerdings kann eine Verlagerung, ähnlich wie bei den anorganischen Spurenstoffen, nicht ausgeschlossen werden.

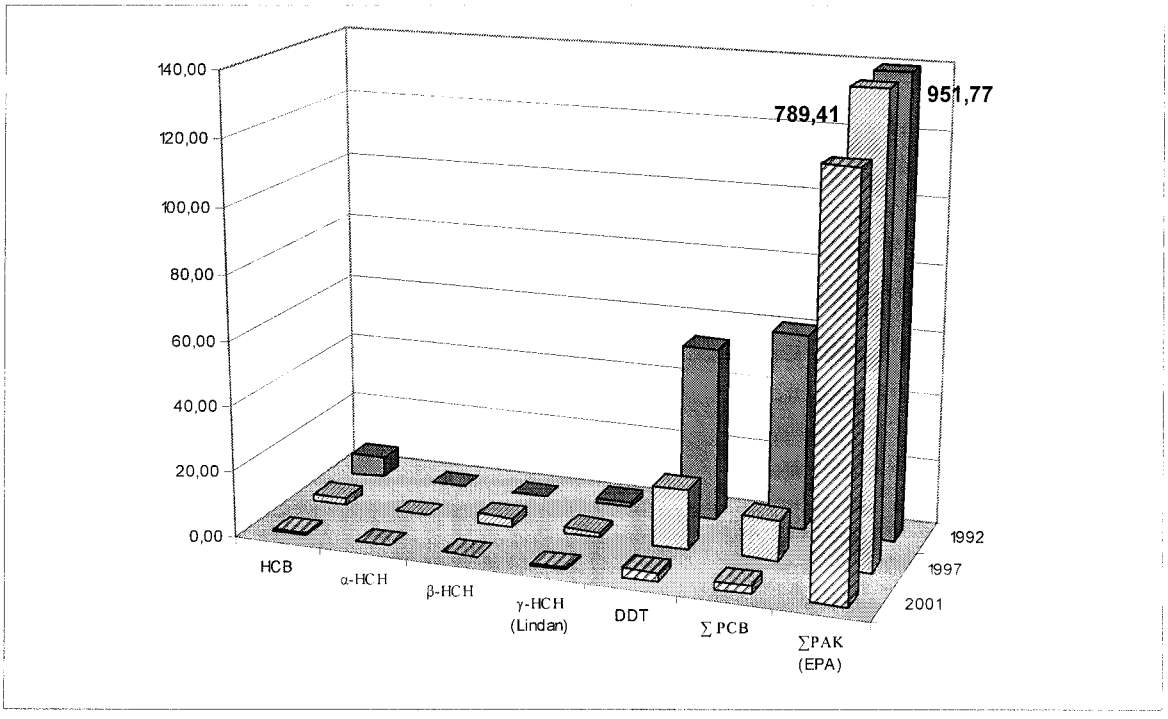


Abb. 1: Gesamtgehalte [mg/kg] der organischen Spurenstoffe im Boden von 1992 bis 2001

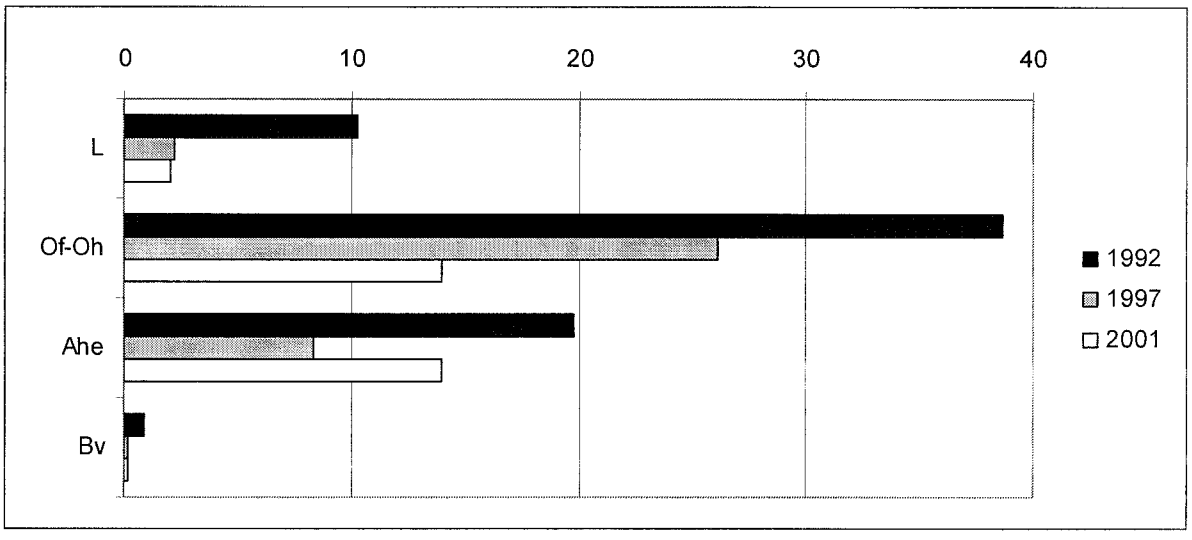


Abb. 2: Toxizitätsäquivalente (I-TE) [ng/kg] für die Jahre 1992 bis2001

Anorganische Spurenstoffe

Ähnlich wie die Gehalte an organischen Spurenstoffen zeigen die anorganischen Spurenstoffe keine Besonderheiten. In der Regel liegen die Arsen- und Schwermetallgehalte unter dem 50-er Perzentil des Hintergrundwertes für Hessen der LABO (1998). Nur Chrom (Cr) liegt darüber, jedoch unter dem 90-er Perzentil. Die gleichmäßige Verteilung im Bodenprofil spricht für einen geogenen Ursprung (s. Tab. 1).

Tab. 1: Schwermetallgehalte [mg/kg] (Mittelwerte der Flächenmischprobe) BDF, Frankfurt/M. Flughafen 1997

Horizont	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	pH ($CaCl_2$)
L	0,40	2,07	42,99	6,45	6,92	4,4
Of-Oh	0,49	10,14	70,44	12,99	100,44	3,5
Aeh	0,05	7,37	9,15	5,76	37,52	3,2
Bv	0,02	6,01	3,06	5,09	7,67	3,8

Beim Chrom und Kupfer ist ein leichter Anstieg der Stoffgehalte im Oberboden (Summe 30cm Boden ohne L-Lage) zu erkennen (Tab. 2). Nickel und Zink erfahren einen leichten Rückgang. Und bei der Blei-Konzentration (-30cm ohne L) ist ein deutlicher Rückgang zu erkennen. Durch den Humusabbau freiwerdendes Blei wird aufgrund des gut durchlässigen und sauren Untergrundes wahrscheinlich verfrachtet. Im Bv kann es aufgrund fehlender Austauscher nicht mehr abgepuffert werden (s. Abb.3, Tab. 2).
Ein allgemeiner Trend zur Abnahme der Schwermetallkonzentration in den organischen Auflagehorizonten ist zu erkennen. Dies mag zum einen an den zurückgehenden Schadstofffrachten aus der Atmosphäre liegen. Entsprechend ist von 1992 bis 2001 auch ein tendenzieller pH-Wert-Anstieg ($CaCl_2$) im Boden erkennbar (s. Tab. 3).
Zum anderen deuten leicht zunehmende Konzentrationen in den mineralischen Horizonten an, dass wahrscheinlich mit dem Abbau der organischen Auflagehorizonte eine Verlagerung der Stoffe in den Unterboden stattfindet.

Tab. 2: Änderungen der Stoffgehalte in 1992 bis 2001 [mg/kg]

Horizont	Mächtigkeit [dm]	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Al
L	0,2	-0,70	-1,80	-52,41	-6,31	-75,13	-31,23	-0,10	-271,50
Of-Oh	0,2	-0,04	1,37	-2,52	-1,09	-10,70	-17,43	-0,02	550,30
Aeh	0,5	0,01	0,81	6,80	0,56	3,30	-52,76	0,09	-758,00
Bv	2,3	0,00	0,03	0,28	-0,52	0,32	0,38	0,01	85,67
		Summe in 30 cm Boden ohne L-Lage [mg/kg]							
		-0,03	2,21	4,56	-1,06	-7,08	-69,81	0,09	-122,03

Tab. 3: pH-Wert ($CaCl_2$)

	L	Of-Oh	Ahe	Bv
1992	3,5	2,6	2,8	3,4
1997	4,4	3,5	3,2	3,8
2001	4,4	3,2	3,1	3,7

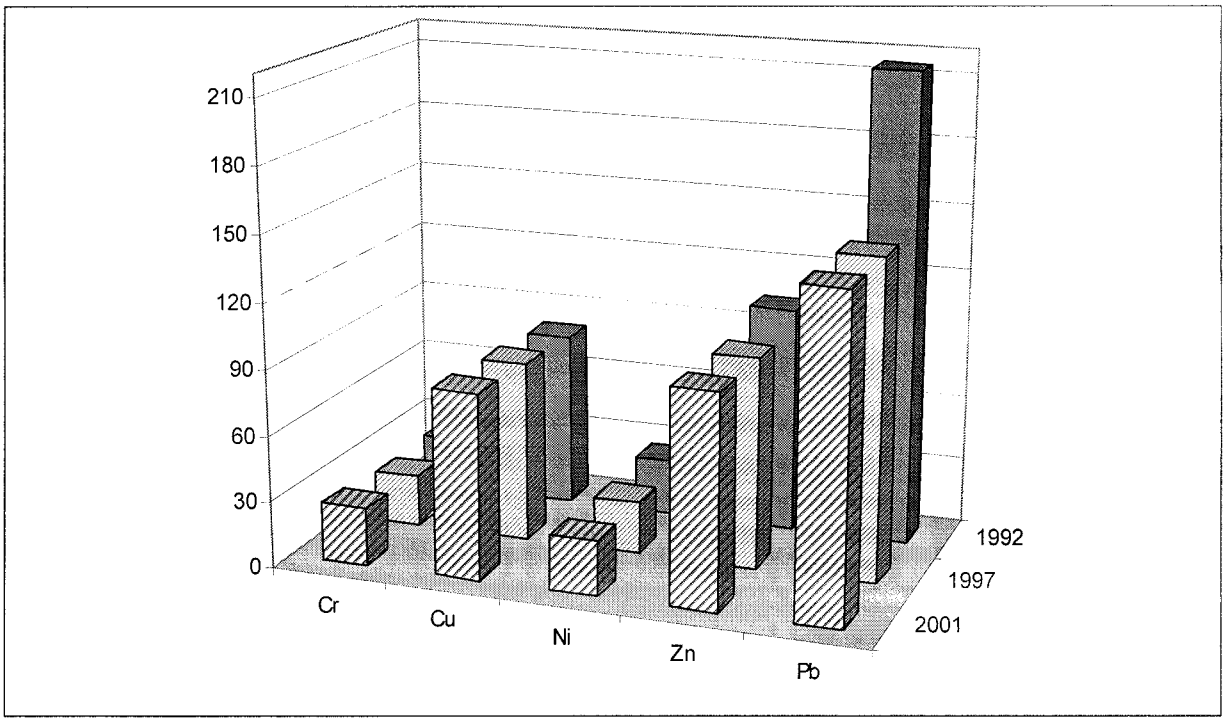


Abb. 3 : Spurenstoffe [mg/kg] in 30 cm Boden (ohne L-Lage)

Bodenwasser, Ein- und Austrag

Für das Verständnis der in Böden ablaufenden Transport- und Umsetzungsprozesse und die Interpretation von messbaren Veränderungen der Bodenfestphase sind Stoffflussmessungen unabdingbar. Die Entwicklung pH-Werte in der Deposition und den Sickerwässern über den Messzeitraum von 1992 bis 2000 ist leicht steigend. Dies entspricht dem allgemeinen Trend. Die nächstgelegene forstliche Vergleichsmessstelle Königstein im Taunus (Balazs 1998) zeigt etwas niedrigere pH-Werte in den Niederschlägen, das gleich gilt für die Protonendeposition.
Trotz der ansteigenden ph-Werte im Sickerwasser und im Boden sind die Stofffrachten hoch. Beispielhaft ist hier Aluminium dargestellt (Abb. 4). Bei den übrigen Stoffen (z.B. Blei, Abb. 5) stellt sich ein ähnliches Bild dar.
Häufig zeigt sich, dass bei der Analyse des Sickerwassers aus 120 cm Tiefe noch einmal ein deutlicher Anstieg der Frachten zu erkennen ist. Auch die Wassermenge nimmt zu und die jahreszeitlichen Schwankungen sind im Vergleich zu den Tiefen 20 bis 80 cm deutlich geringer. Ursächlich ist wahrscheinlich kapillar aufsteigendes Grundwasser. Neben den chemischen Analysen zeigt auch der Verlauf der gemessenen Saugspannung diesen Einfluss.
Die im Grundwasser gemessenen Werte zeigen keinen direkten Bezug zum Niederschlag und Sickerwasser.
Diese Betrachtungen lassen es sinnvoll erscheinen, die Tiefe für den Austrag von Stoffen aus dem Boden bei 80 cm anzusetzen. Wegen der methodisch bedingten unterschiedlichen Anzahl der Messwerte für die verschiedenen Probennahmeebenen in den einzelnen Jahren wurden für die Bilanzierung für den gesamten Untersuchungszeitraum 1992 bis 2000 Mittelwerte berechnet.
Für die meisten Stoffe ergibt sich eine negative Stoffbilanz (Tab. 4), Ausnahmen bilden nur Kalium und Stickstoff, hier überwiegen die Einträge. Blei, Nickel, Kupfer, Chrom, Cadmium wurden wegen der unzureichenden Datenbasis nicht berücksichtigt.

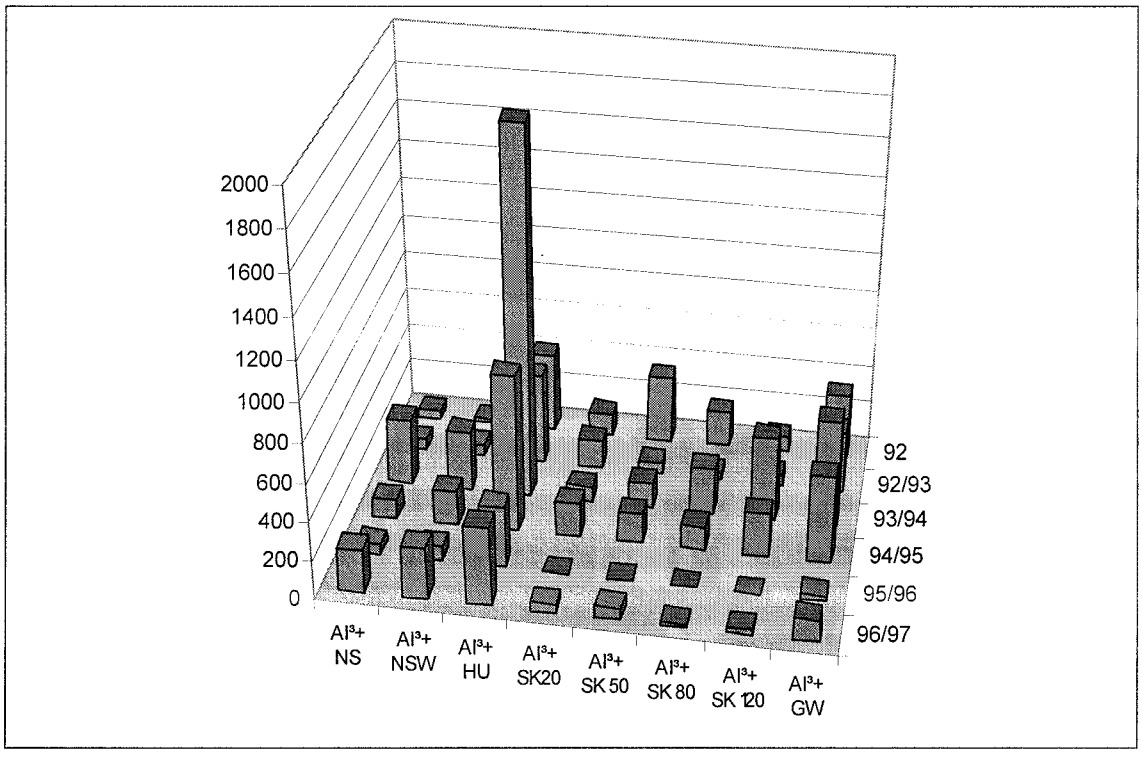


Abb. 4: Jahres und Tiefenverlauf von Al3+ [mg/m^2]

Ns = Freilandniederschlag; NSW = Bestandsniederschlag; HU = Humuslysimeter; SK = Sickerwasser (in 20, 50, 80 und 120 cm Tiefe); GW = Grundwasser

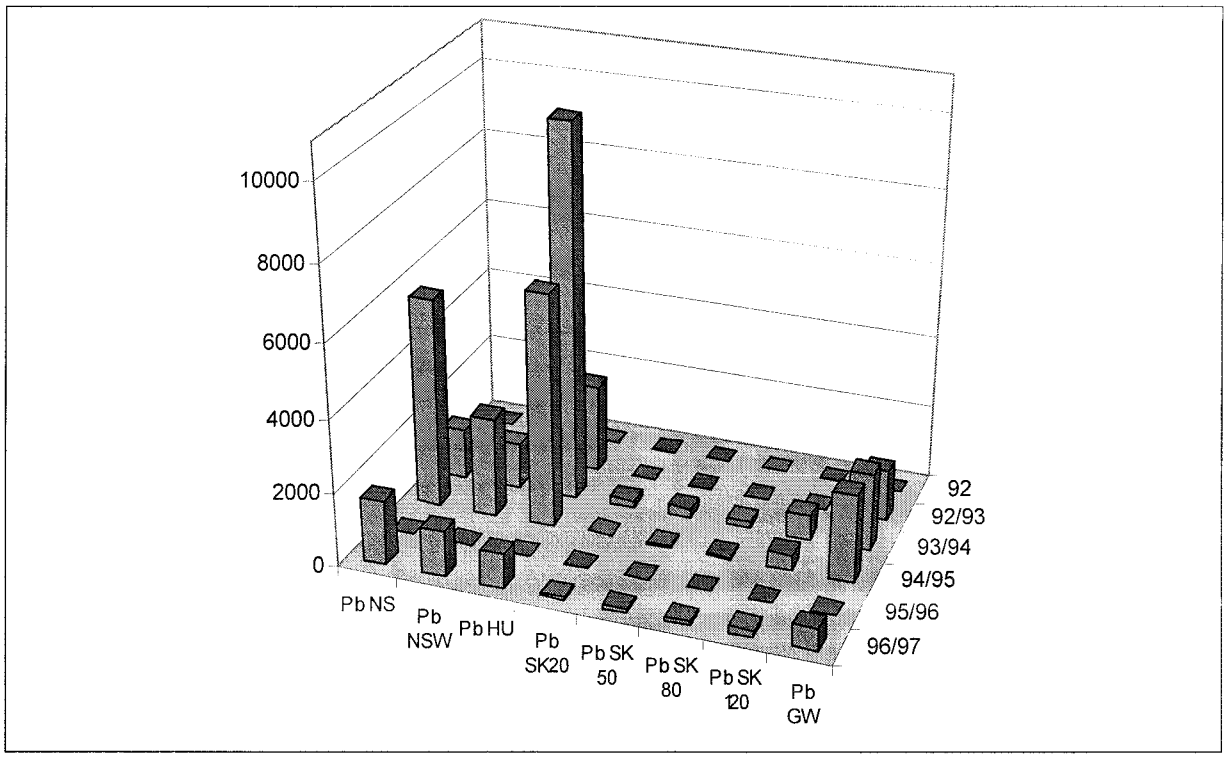


Abb. 5: Jahres und Tiefenverlauf von Pb [mg/m^2]

Ns = Freilandniederschlag; NSW = Bestandsniederschlag; HU = Humuslysimeter; SK = Sickerwasser (in 20, 50, 80 und 120 cm Tiefe); GW = Grundwasser)

Tab. 4: Mittlere Stoffbilanzen von 1992 bis 2000 [mg/m2]

	Chlorid	Sulfat	Ammonium	Nitrat	Anorganischer Stickstoff
Eintrag (NSW)	1310	2898	1174	5294	2109
Austrag (SK 80)	1993	8560	1286	2530	1572
Bilanz %	-52	-195	-9,5	52	25

	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium
Eintrag (NSW)	848	1589	1123	252
Austrag (SK 80)	880	550	1506	624
Bilanz %	-3,8	65	-34	-148

Eintrag: Stoffgehalte im Bestandniederschlag
Austrag: Stoffgehalte im Sickerwasser in 80 cm Tiefe

3. Zusammenfassung

Die Spurenstoffgehalte des Bodens der Intensiv-Boden-Dauerbeoabachtungsfläche Frankfurt am Main/Flughafen sind für Ballungsgebiete typisch und weisen keine deutlich erhöhten Werte auf. Alle Spurenstoffe liegen im Bereich der hessischen Hintergrundwerte.
Bei den Wiederholungsuntersuchungen ist allgemein eine Tendenz zum Rückgang der Spurenstoffgehalte zu erkennen. Die mittlere Stoffbilanz für die obersten 30 cm Bodenprofil ist für die meisten Stoffe negativ. Eine Verlagerung dieser Stoffe in den Untergrund ist trotz leicht steigender pH-Werte wahrscheinlich. Die Ergebnisse der Bodenwasseruntersuchungen manifestieren die Tendenzen, die sich bei den Untersuchungen der Bodenfestphase andeuten. Durch Humusabbau freigesetzte Stoffe können aus dem Boden ausgewaschen werden.
Zur endgültigen Bewertung der Entwicklung der Bodenbelastung und der Stoffverlagerung im Boden sind aber noch weitere Untersuchungen notwendig. Zur Interpretation von messbaren Veränderungen der Bodenfestphase sind Stoffflussmessungen unabdingbar.

4. Literatur

BALAZS, A. (1998):): 14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten, Ergebnisse von den Messstationen der Waldökosystemenstudie Hessen. – Hess. Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie Forschungsbericht: 25; HMI&LFN Wiesbaden.

EMMERICH, K.-H. & LÜGGER, K. (1998): Grundsätze der Bewertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung am Beispiel von Stoffvorräten. - Mittl. DBG 88: 315-318.

LABO (Bund-Länder-Arbeitsgruppe Bodenschutz) (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden.

SCHLEYER, R., FILLIBECK, J., HAMMER, J., RAFFIUS, B. (1996): Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Deposition organischer Stoffe aus der Atmosphäre. – Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (Umweltbundesamt). - Forschungsberichte Wasser 102 02 626 Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein

Hildebrandt, A.
Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
e-mail: ahildebr@lanu.landsh.de

Abstract: Since 1989 in Schleswig-Holstein are 37 Soil-Monitoringsites are established, where soil chemictry, soil physic and (soil)biology are investigated. The investigation-sites are chosen with the intention to longterm changing of soils regarding to earth-science criteria, deposition- and landuse-situation as well as integrated into the integrational enviromental monitoring.

Zusammenfassung: Seit 1989 sind in Schleswig-Holstein 37 Boden-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet worden, auf denen bodenchemische, bodenphysikalische und (boden)biologische Untersuchungen durchgeführt werden. Die Untersuchungsstandorte sind mit dem Ziel der langfristigen Erfassung von Bodenveränderungen nach geowissenschaftlichen Kriterien und Eintrags- und Nutzungssituation ausgewählt und in die integrierende Umweltbeobachtung eingebunden worden.

Keywords: soil monitoring, selection of sites, soil changing, soil protection;
Schlagworte: Boden-Dauerbeobachtung, Standortauswahl, Bodenveränderungen, Bodenschutz;

1 Einleitung

Im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes wurden zur Kennzeichnung und Beobachtung von Veränderungen in Böden in Schleswig-Holstein seit 1989 insgesamt 37 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet. An den BDF werden bodenrelevante Daten erhoben und Begleituntersuchungen durchgeführt. Das Untersuchungsprogramm umfasst bodenkundliche Feldaufnahmen, bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen, Wasserstandsmessungen und die Dokumentation betriebsbezogener Daten (Schlagkarteien) sowie vegetationskundliche, lichenologische, bodenzoologische und bodenmikrobiologische Untersuchungen.

2 Zielsetzung und Standortauswahl

Die Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein wird unter folgenden Zielsetzungen betrieben:

- Ersterfassung des Bodenzustandes im Hinblick auf die gegenwärtigen Merkmale und Eigenschaften von Böden sowie ihrer Belastungen an landesweit repräsentativ ausgewählten Standorten
- Langfristige Erfassung von Bodenveränderungen infolge standort-, belastungs- und nutzungsspezifischer Einflüsse im Rahmen von periodischen Untersuchungen, um zukünftige Veränderungen vorhersagen und im Sinne des Vorsorgeprinzips rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der Böden ergreifen zu können
- Einrichtung von Vergleichsflächen für regionale Belastungen und als Eichstandorte
- Einbindung anderer bodenkundlicher Fragestellungen und Bodenschutzprojekte wie den Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein, die bodenkundliche Landesaufnahme sowie die Auswertung der Daten der Reichsbodenschätzung in einen landesweiten Zusammenhang

Die Auswahl der Standorte wurde nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Repräsentative landesweite Auswahl von Untersuchungsräumen nach Böden, Ausgangsgesteinen, Nutzungen, Depositionsklassen und Naturräumen
- Auswahl der Standorte nach weiteren Aspekten wie Zusammenarbeit mit anderen Dienststellen der Landesregierung und Instituten, Zugehörigkeit zu regionalen Verwaltungseinheiten sowie Einbindung in bestehende bzw. geplante (Überwachungs-) Messnetze und ökologische Beobachtungsgebiete
- Kleinräumige Ausweisung der Flächen in den ausgewählen Untersuchungsräumen:
  Auf der Grundlage detaillierter Bodenkartierungen sind ca. 1000 m² große Flächen ausgewiesen worden, die eine weitgehend ebene Lage und gleichartig strukturierte Beschaffenheit der Böden aufweisen bzw. für die Untersuchung spezieller Fragestellungen (Erosion, natürliche Sukzession etc.) geeignet sind.

BDF	Einrich-tungs-jahr	Bodenchemie		Boden-physik	Grund-wasser-stand	Vege-tations-kunde	Flechten	Boden-mikro-biologie	Boden-zoologie	Auswahlkriterien, Kooperationen
		Anor-ganika	Organika							
SH 01	1989	2	2	1		3	3	2	2	NSG/Sukzession, Kooperation Umweltbundesamt (UBA)
SH 02	1989	2	2	1	X	3	3	2	2	Kooperation Forstverwaltung u. Luftüberwachung
SH 03	1990	2	2	1		3	3	2	2	
SH 04	1990	2	2	1	X	3	3	3	2	Kooperation Deutscher Wetterdienst
SH 05	1990	2	2	1		3	3	3	1	
SH 06	1989	2	2	1	X	3	3	3	2	Kooperation Christian-Albrechts-Universität (CAU)
SH 07	1989	2	2	1	X	3	3	2	2	Naturschutzgebiet (NSG)
SH 08	1991	2	2	1	X	3	3	2	2	
SH 09	1990	2	2	1	X	3	3	3	2	
SH 10	1991	2	2	1		3	3	3	2	
SH 11	1992	2	2	1	X	3	3	2	2	
SH 12	1990	2	2	1	X	3	3	3	1	Kooperation Luftüberwachung
SH 13	1991	2	2	1	X	3	3	2	2	Kooperation Luftüberwachung
SH 14	1990	2	2	1	X	4	3	2	2	
SH 15	1989	2	2	1		3	3	3	2	Kooperation Christian-Albrechts-Universität (CAU)
SH 16	1991	2	2	1		3	3	3	1	
SH 17	1991	2	2	1	X	3	3	3	2	biologisch-dynamische Bewirtschaftung
SH 18	1989	2	2	1		3	3	3	1	Kooperation CAU Kiel u. Luftüberwachung
SH 19	1990	2	2	1		3	3	3	2	Kooperation Umweltbundesamt (UBA)
SH 20	1989	2	2	1		3	3	2	2	Kooperation Forstverwaltung
SH 21	1989	2	2	1	X	4	3	2	2	NSG/Sukzession, Kooperation CAU Kiel
SH 22	1991	2	2	1	X	3	3	2	2	
SH 23	1992	2	2	1		3	3	3	2	
SH 24	1989	2	2	1		3	3	3	2	Kooperation Ökosystemforschung u. Luftüberwachung
SH 25	1990	2	2	1	X	4	3	2	2	
SH 26	1989	2	2	1	X	3	3	2	2	Kooperation Christian-Albrechts-Universität (CAU)
SH 27	1992	2	2	1		3	3	3	1	
SH 28	1990	2	2	1		3	3	2	2	
SH 29	1990	2	2	1	X	3	3	3	1	Kooperation Luftüberwachung
SH 30	1992	2	2	1	X	3	3	2	2	
SH 31	1991	2	2	1	X	3	3	3	2	Belastung mit Pflanzenschutzmitteln
SH 32	1989	2	2	1		3	3	2	2	Kooperation Forstverwaltung
SH 33	1989	2	2	1	X	4	3	2	2	NSG, Kooperation Luftüberwachung
SH 34	1996	1		1		2	2	2	1	
SH 35	2000									Kooperation Christian-Albrechts-Universität (CAU)
SH 36	2000							1		Kooperation Christian-Albrechts-Universität (CAU)
SH 37	2001									Kooperation Nationalparkamt Wattenmeer

Tab. 1: Aktueller Stand der jeweiligen Untersuchungen (Anzahl) auf den Boden-Dauerbeobachtugsflächen

3 Besonderheiten des schleswig-holsteinischen Untersuchungsprogrammes

Die Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein weist folgende Besonderheiten auf:

- Einbindung der Boden-Dauerbeobachtung in ein System der integrierten Umwelt-beobachtung
- Mittlere Untersuchungsintensität an einer begrenzten Anzahl von Flächen bei Anwendung schonender, möglichst zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden
- Verwendung biologischer Methoden zur Erfassung empfindlicher Parameter für die indirekte Beurteilung von Veränderungen der Standortbedingungen im Ökosystem (als Besonderheit die Aufnahme von Flechtengesellschaften zur Abschätzung der Luftqualität)
- Abgestimmtes Vorgehen und ständige Rückkopplung mit dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein hinsichtlich Standortauswahl, Untersuchungsparameter und

-methoden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit und zur gegenseitigen Ergänzung der gewonnenen Informationen für den Bodenschutz

Im nunmehr 14. Projektjahr befinden sich die biologischen Untersuchungsverfahren in der Wiederholungsphase. Bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungsverfahren sind im Rahmen der Ersterfassungen zum Einsatz gekommen. Darüber hinaus wurden 1999 die Oberböden von 34 BDF erneut beprobt, um die bodenchemischen Parameter zu erfassen. Die vegetations- und flechtenkundlichen Untersuchungen wurden bereits zusammenfassend ausge- und bewertet. Die Daten über Organika in Oberböden (Dioxine, Furane, Pflanzenschutzmittel, PAK, PCB u.a.) und Schwermetalle in Leitböden (Cr, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb), die im Rahmen der Ersterfassung erhoben wurden, sind mit dem Ziel der Methodenkontrolle und des Standortvergleichs ausgewertet worden.

4 Ausblick

Seit der Durchführung der ersten Wiederholungsaufnahmen im Bereich der biologischen Untersuchungen befindet sich die Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein in der Betriebsphase. Auf der Grundlage der bisherigen Untersuchungsergebnisse sind nach Auswertung der Wiederholungsaufnahmen im bodenchemischen Bereich voraussichtlich erste Aussagen über Veränderungstendenzen der Böden möglich. Auch die Zweckmäßigkeit der gewählten zeitlichen Abstände zwischen den Untersuchungen lässt sich dann beurteilen. Möglich wäre nach Auswertung der ersten Wiederholungsuntersuchungen die Beschränkung auf einige kennzeichnende Merkmale, deren Veränderung das Gesamtbild der standörtlichen Veränderungen aufgrund von inneren und äußeren Einflussgrößen messbar widerspiegeln. Im Hinblick auf die Entwicklung von Verfahren zur Auswertung der gewonnenen Daten ist eine Harmonisierung mit anderen Bundesländern anzustreben, damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist. Entscheidend für das Projekt Boden-Dauerbeobachtung ist die Langfristigkeit der Untersuchungen, da die Erfassung der Veränderungen von Böden und Prognosen für deren Entwicklung nur bei einer langfristigen Beobachtung möglich sind.

5 Literatur

BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B., SCHILLING, B., UTERMANN, J. (2000): Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen.- Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, 32. Lfg. XI/00, Ordnungsnummer 9152.

BUCHHOLTZ, J. (1995): Organika-Analysen in der Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein – Erfahrungen zu angewandten Methoden.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 76: pp. 229-232.

CORDSEN, E. (1993): Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 72: pp. 859-862.

CORDSEN, E., D.-C. ELSNER, M. FILIPINSKI (1999): Böden unter die Lupe genommen -Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein.- Jahresbericht 1999 des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, pp 81-86.

DIE MINISTERIN FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1994): Bodenschutz in Schleswig-Holstein – Informationsgrundlagen, Bodenschutzprojekte, Probenahmehinweise, Maßstäbe zur Beurteilung von Böden.

GESETZ ZUR AUSFÜHRUNG UND ERGÄNZUNG DES BUNDES-BODENSCHUTZGESETZES (LANDESBODENSCHUTZ- UND ALTLASTENGESETZ – LBODSCHG) VOM 14. MÄRZ 2002 (2002).-Gesetz- und Verordnungsblatt für Schleswig-Holstein, GS Schl.-H. II, Gl.Nr. B 2129-3.

KUHNT, D. (1989): Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein – Auswahl und Einrichtung.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 59/II: pp. 923-926.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND FORSTEN DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1996): Bodenschutzprogramm - Ziele und Strategien des Bodenschutzes in Schleswig-Holstein.

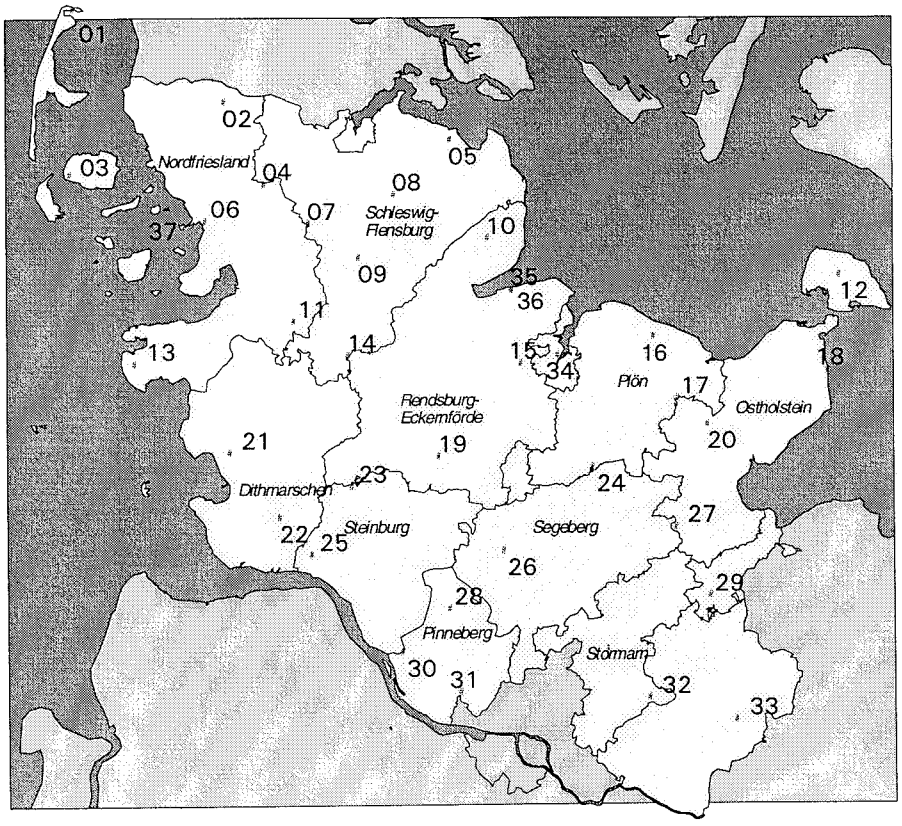


Abb. 1: Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein

Entwicklung von Pedotransferfunktionen zur Prognose des Stofftransports in der ungesättigten Zone

Meyenburg, G.H., J. Utermann, H.-E. Gäbler, W.H.M. Duijnisveld
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover
gunnar.meyenburg@bgr.de

Abstract: A model-supported decision instrument will be developed in order to predict the transport of inorganic contaminants through the unsaturated zone of different soils and site conditions. Backgroud of these investigations are requirements with respect to groundwater risk assessment resulting from the German Federal Soil Protection Ordinance. Pedotransfer functions will be developed to estimate the retention of inorganic solutes from common soil parameters and coupled with a transport model.

Zusammenfassung: Für ein weites Spektrum an Substrateigenschaften und Standortbedingungen wird ein Modell zur Prognose des Transports anorganischer Schadstoffe durch die ungesättigte Zone entwickelt. Anlaß bildet die in der Bundesbodenschutzverordnung vorgesehene 'Sickerwasserprognose'. Hierzu werden Pedotransferfunktionen zur indirekten Ermittlung der Sorptionseigenschaften aus einfach zu ermittelnden Bodenparametern entwickelt und mit einem Stofftransportmodell gekoppelt.

Keywords: seepage water, heavy metals, sorption, pedotransfer functions, transport model

Schlagworte: Sickerwasser, Schwermetalle, Sorption, Pedotransferfunktionen, Transportmodellierung

1 Einführung und Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist es, ein modellgestütztes Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit welchem der Transport der in der BBodSchV (1999) geregelten anorganischen Schadstoffe durch die unbelastete ungesättigte Bodenzone in die gesättigte Zone auf der Basis einfach zu erhebender Parameter prognostiziert werden kann.
Die BBodSchV benennt unterschiedliche Ansätze zur Abschätzung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser, doch konkrete und allgemein akzeptierte Verfahren existieren bislang nicht. Mit einem an der BGR laufenden Vorhaben soll ein modellgestütztes Entscheidungssystem entwickelt werden, welches eine praktikable, nachvollziehbare und objektive Beurteilung der von kontaminierten Flächen ausgehenden oder in Zukunft zu erwartenden anorganischen Schadstoffeinträge in das Grundwasser ermöglicht.
Erste Ansätze, die auf dem Konzept der Ableitung substratübergreifender Sorptionscharakteristiken beruhen, wurden bereits von unterschiedlichen Arbeitsgruppen entwickelt. Jedoch berücksichtigen diese nur ein vergleichsweise enges Substratspektrum und lediglich eine sehr begrenzte Anzahl von Elementen (Streck & Richter 1997, Springob & Böttcher 1998, Elzinga et al. 1999, Welp & Brümmer 1999, Thiele & Leinweber 2001).
Die hohe Flexibilität des Modells erlaubt dessen Anpassung an unterschiedlichste standörtliche Verhältnisse sowie an die elementspezifischen Sorptionseigenschaften. In Verbindung mit Heterogenitätsmaßen liefert das Modell eine Aussage zur Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stoffes in das Grund-

wasser, wodurch insgesamt eine qualifizierte Bewertung der aktuellen oder zu erwartenden Grundwassergefährdung möglich wird.
Mit dem erfolgreichen Abschluß des Vorhabens steht ein fachlich begründeter, experimentell belegter und konsensfähiger Verfahrensvorschlag für die Sickerwasserprognose als Grundlage dafür zur Verfügung, Unsicherheiten im Kontext einer umweltgerechten und wirtschaftlichen Verwertung gering belasteter Abfälle, Recyclingprodukte oder kontaminierter Materialien zu beseitigen.

2 Konzeptioneller Ansatz

Kernstück des Vorhabens bildet die Entwicklung von Pedotransferfunktionen zur Quantifizierung des Retentionsvermögens gegenüber anorganischen Schadstoffen für ein breites Spektrum an Substrateigenschaften und deren Kopplung mit einem Stofftransportmodell, in welchem Methoden zur Berücksichtigung der Variabilität von Bodeneigenschaften und von Unsicherheiten bei den Eingangsgrößen implementiert werden. Die Pedotransferfunktionen werden unter Anwendung multivariater statistischer Verfahren in Form von substratübergreifenden Sorptionsisothermen erstellt.
Grundlage zur Beschreibung der Verteilung eines Stoffes zwischen gelöster und sorbierter Phase bildet zunächst die Freundlich-Isotherme, die um zusätzliche Terme zur Berücksichtigung von Substrateigenschaften erweitert wird (erweiterte Freundlich-Gleichung):

$$S = k \cdot C^n \qquad \text{(Freundlich-Gleichung)} \qquad \text{Gl. (1)}$$

$$k = k^* \cdot OC^a \cdot (H^+)^b \cdot Ton^c \cdot \ldots\ldots \qquad \text{Gl. (2)}$$

$$S = k^* \cdot OC^a \cdot (H^+)^b \cdot Ton^c \cdot \ldots\ldots \cdot C^n \qquad \text{(erweiterte Freundlich-Gleichung)} \qquad \text{Gl. (3)}$$

mit S und C als der Gehalt in der sorbierten bzw. gelösten Phase, OC als dem Gehalt an organischem Kohlenstoff, (H^+) als der Protonenaktivität, a, b, c und n als dimensionslose Exponenten, k als Freundlich-Koeffizient und k^* als sog. intrinsischer Koeffizient der Freundlich-Gleichung. Auf diese Weise wird der nicht erklärbare Anteil bzgl. Lage und Verlauf der Isotherme, den der Freundlich-Koeffizient letztendlich repräsentiert, minimiert. Bei Kenntnis der relevanten sorptionsbestimmenden Bodenkenngrößen und der zugehörigen Exponenten sowie von k^* läßt sich nach Umstellung von Gl. (3) die Lösungskonzentration quantifizieren.
Die Untersuchungen werden elementspezifisch unter Berücksichtigung des Bindungsvermögens der Substrate in ökologisch relevanten Konzentrationsbereichen durchgeführt.

3 Probenmaterial

Die Auswahl geeigneter Probenahmestandorte konzentriert sich vorrangig auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen, die von den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder (SGD) betreut werden. Diese Standorte sind sehr gut charakterisiert und von hoher pedoregionaler Repräsentanz.
In die Untersuchungen werden Acker- und Grünlandstandorte einbezogen. Die Vorauswahl möglicher Probenahmestandorte erfolgte auf der Basis von Informationen aus verfügbaren Datenbanken und unterschiedlichen Kartenwerken. Dabei wurden pedologische, lithologische und geogenetische Kriterien berücksichtigt, um das Spektrum der Substrateigenschaften und Standortbedingungen, von denen bekannt ist oder erwartet wird, dass sie Transportparameter und das Retentionsvermögen von Böden maßgeblich determinieren oder zumindest beeinflussen können, zu erfassen.

Basierend auf dieser Vorauswahl erfolgt die endgültige Standortfestlegung für die Bodenprobenahmen in enger fachlicher und zeitlicher Abstimmung mit den zuständigen SGD. Dadurch wird gewährleistet, dass die bei den SGD vorhandenen Expertisen in die Standortauswahl einfließen und das auf Bundesebene zu erwartende Spektrum an Substrateigenschaften und Standortbedingungen repräsentativ erfaßt wird.

4 Laboranalytische Arbeiten

Das Bindungsvermögen unterschiedlicher Substrate wird anhand von Sorptionsisothermen charakterisiert, welche die Verteilung eines Stoffes zwischen gelöster und sorbierter Phase beschreiben. Als anorganische Schadstoffe werden die Elemente Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl und Zn betrachtet.
Die Konzentrationsbereiche, die von den Sorptionsisothermen abgedeckt werden sollen, orientieren sich für die meisten Elemente an den Prüfwerten der BBodSchV (1999) für den Pfad Boden-Grundwasser. Für das Element Tl wird der Zuordnungswert Eluat für Boden Z 2 der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 1998) herangezogen. Die in Tab. 1 aufgeführten Prüfwerte sollen von den ermittelten Sorptionsisothermen sicher eingeschlossen werden.

Tabelle 1: Prüfwert der BBodSchV (1999) für den Pfad Boden-Grundwasser.

Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl [1)]	Zn
[µg/l]	[µg/l]	[µg/ll]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
5	50	50	50	50	50	25	10	5	500

[1)] Zuordnungswert Eluat für Boden Z 2 der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 1998)

Da Böden auch ohne Zufuhr von außen eine gewisse Grundbelastung an sorbierten Schwermetallen aufweisen, kann die Vernachlässigung dieses Anteils zu Verzerrungen der Sorptionsisothermen insbesondere bei niedrigen Lösungskonzentrationen und damit zu einer fehlerhaften Isothermenanpassung führen. Zur Quantifizierung des substrateigenen, an den den Sorptionsreaktionen beteiligten Stoffpools stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die auf ihre Eignung im Rahmen der vorgesehenen Arbeiten überprüft wurden.
Isotopenaustauschversuche mit angereicherten stabilen Isotopen (Isotopenverdünnungsanalyse (IVA)) und die Extraktion mit EDTA liefern für die Elemente Cd, Cu, Ni, Pb und Zn vergleichbare Ergebnisse. Für die Elemente Cr, Mo, Sb und Tl ist dies nicht der Fall. Für Tl lässt sich zeigen, dass die IVA Methode verlässlichere Ergebnisse liefert. Für Cr scheinen dagegen beide Methoden ungeeignet zu sein. Für Sb und Mo müssen noch weitere Daten erhoben werden, um gesicherte Aussagen über Eignung und Verlässlichkeit beider Methoden zu erhalten.
Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Ionenstärke des Begleitelektrolyten einen deutlichen Einfluss auf die Lage der Sorptionsisothermen hat (Abb. 1). Um Probleme im Zusammenhang mit der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Laborversuchen auf Geländebedingungen zu minimieren, wird für jede Probe die Begleitelektrolytkonzentration der Sorptionsexperimente an die unter natürlichen Bedingungen zu erwartende Ionenstärke angepasst. Die Ionenstärke im Bodensättigungsextrakt wird als bestmögliche Annäherung an die natürlichen Bedingungen in der Bodenlösung angesehen und für jedes Substrat aus Extraktionsversuchen bei unterschiedlichen Eluat/Feststoff-Verhältnissen abgeleitet.

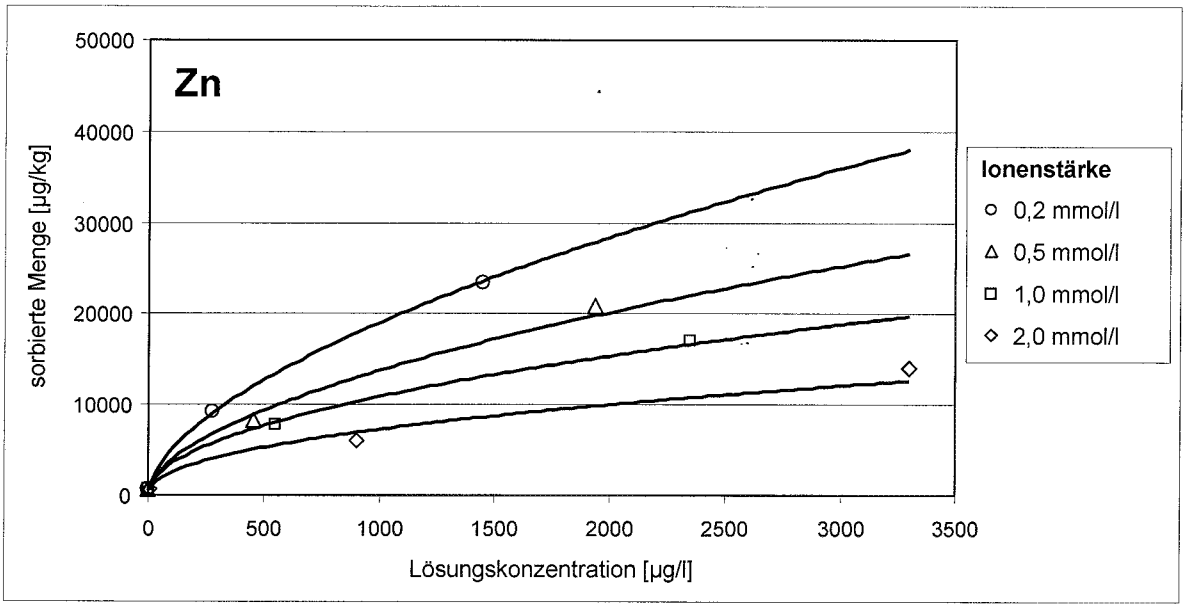


Abbildung 1: Bei unterschiedlicher Ionenstärke ermittelte Sorptionsisothermen eines Sw-Horizontes einer Pseudogley-Braunerde (schwach lehmiger Sand).

5 Stofftransportmodellierung

Der Transport von Stoffen in der ungesättigten Zone wird durch die Kopplung der Konvektions-Dispersions-Gleichung (KDG) mit den ermittelten substratübergreifenden Sorptionsisothermen bzw. erweiterten Freundlich-Isothermen beschrieben. Zu diesem Zweck wird ein bestehendes Modell (SEFAH-BGR) erweitert und den Anforderungen an die Sickerwasserprognose angepasst. Hierzu gehört die Implementierung von Möglichkeiten zur Eingabe von sorptionsrelevanten Bodenkenngrößen sowie der jeweiligen Koeffizienten und Exponenten, die die Isotherme und damit die Verteilung eines Stoffes zwischen gelöster und sorbierter Phase charakterisieren. Aufgrund der bei praktischen Anwendungen begrenzten Möglichkeiten bei der Parameterisierung wird nur die eindimensionale Form der KDG verwendet.

Weiterhin werden in dem Modell mittels Monte-Carlo Modellierung paralleler Bodensäulen ('parallel soil columns approach') Methoden zur Berücksichtigung der Auswirkung der räumlichen Heterogenität von Bodeneigenschaften und der Quellstärke sowie von Unsicherheiten in den Eingangsgrößen auf das Prognoseergebnis implementiert. Räumlich variable Parameter fließen daher in Verbindung mit Verteilungsparametern als Eingangsgrößen in das Modell ein, wodurch bei gegebener Schadstoffquellstärke die Wahrscheinlichkeit des Überschreitens kritischer Konzentrationen im Sickerwasser beim Eintritt ins Grundwasser berechnet werden kann. Mit dieser Vorgehensweise wird dem Umstand Rechnung getragen, daß i. d. R. lediglich punktuelle Informationen zu Substrateigenschaften vorliegen, letztendlich jedoch flächenhafte Aussagen getroffen werden müssen.

Die für die Modellrechnungen erforderlichen standortspezifischen Bodenwassergehalte und Sickerwasserraten für gegebene Klima-, Boden- und Nutzungsbedingungen werden aus leicht zugänglichen bzw. einfach zu ermittelnden Boden- und Klimaparametern anhand etablierter und, sofern erforderlich, modifizierter oder neu entwickelter Transferfunktionen abgeleitet.

Im Resultat liefert das Modell Informationen zur zeitlichen Entwicklung der Sickerwasserkonzentration in Verbindung mit Aussagen über die statistische Sicherheit des Prognoseergebnisses, d. h. mit

welcher Wahrscheinlichkeit innerhalb relevanter Zeiträume bestimmte Prüfwerte am Ort der rechtlichen Beurteilung überschritten werden.

Auf der Grundlage der Recherchen zum Aufbau von typischen Unterböden in den Bodenregionen Deutschlands werden Modellszenarien für unterschiedliche Standorteigenschaften und -bedingungen mit dem Ziel erstellt und berechnet, die Anwendbarkeit des Verfahrens aufzuzeigen und dem zukünftigen Nutzer praxisbezogene Beispiele für mögliche Anwendungen zu geben.

6 Literatur

BBODSCHV (1999). BGBl. I 1999.

ELZINGA, E.J., J.J.M. VAN GRINSVEN, F.A. SWARTJES (1999): General purpose Freundlich isotherms for cadmium, copper and zinc in soils. Eur. J. Soil Sci., 50: 139-149.

SPRINGOB, G., J. BÖTTCHER (1998): Parameterization and regionalization of Cd sorption characteristics of sandy soils. II. Regionalization: Freundlich k estimates by pedotransfer functions. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 161: 689-696.

STRECK, T., J. RICHTER (1997): Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. J. Environ. Qual., 26: 49-56.

THIELE, S., P. LEINWEBER (2001): Parameterization of Freundlich adsorption isotherms for heavy metals in soils from an area with intensive livestock production. J. Plant Nutr. Soil Sci., 164: 623-629.

WELP, G., G.W. BRÜMMER (1999): Adsorption and solubility of ten metals in soil samples of different composition. J. Plant Nutr. Soil Sci., 162: 155-161.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (1998): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 20, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Ergebnisse der Bodengefügeuntersuchungen auf den Thüringer Dauerbeobachtungsflächen

Rainer Paul
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Strasse 98, 07743 Jena

Abstract: *On 10 areas on arable land and 4 on grassland soil physical investigations in the upper crumb, the lower crumb, the plough-ground and the subsoil were made. The aim was to see changes of soil structure under the long time compression stress by agricultural vehicles. The results show, that the change of soil structure depends on their mechanical stability. The results confirmed with the prediction of the stress induced influences on soil structure.*

Zusammenfassung: *Auf 10 Dauerbeobachtungsflächen auf Acker und 4 auf Grünland wurden bodenphysikalische Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, den Langzeiteinfluss des Bodendruckes leistungsfähiger Landtechnik auf das Bodengefüge zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen bei weitgehend vergleichbarer Druckbelastung einen Einfluss der mechanischen Stabilität des Bodengefüges. Diese Einfluss stimmt mit der Vorhersage der Schadverdichtungsgefährdung überein.*

Keywords: soil monitoring, soil structure, soil physics, soil pressure
Schlagworte: Bodendauerbeobachtung, Gefüge, Bodenphysik, Bodendruck

1. Einleitung

Im Beobachtungszeitraum seit 1992 hat sich auf allen Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Thüringen das Bewirtschaftungsregime in weitgehend gleicher Weise verändert. Es wird zunehmend moderne und leistungsstarke, damit aber auch immer schwerere Technik eingesetzt. Das Bodenbearbeitungsregime verändert sich zu mehrjährig flach lockender Bodenbearbeitung mit nur noch periodischem Pflugeinsatz. Von dieser Entwicklung sind Auswirkungen auf das Gefüge anzunehmen. Sie sollen im langfristigen Bodenbeobachtungsprogramm festgestellt werden.
Zugleich werden die BDF zur Überprüfung eines Beratungsansatzes zur Vorsorge vor Bodenschadverdichtungen genutzt. Der Beratungsansatz beruht auf dem Vergleich der Druckbelastbarkeit der Böden mit der Druckbeanspruchung durch die eingesetzte Technik.

2. Material und Methoden

Auf 10 Acker- und 4 Grünlandstandorten werden physikalische Flächendaten im zweijährigen Turnus in vier Tiefen, in der oberen Krume, der unteren Krume, der Krumenbasis und dem krumennahen Unterboden, erhoben. Dazu wird am Rand jeder der in vier Teilflächen geteilten BDF ein Profil angelegt und jede Schicht mit 250 cm^3 Stechzylindern in 6-facher Wiederholung beprobt. An den Stechzylindern wird die gesättigte Wasserleitfähigkeit in vertikaler Richtung nach DIN 19683-9 und die Luftkapazität nach DIN 19683-5 bestimmt.
Für jede der BDF wurde nach einem Verfahren nach HORN u.a. (2001) das Schadverdichtungsrisiko aus den physikalischen Daten der BDF und der Technik des Bewirtschafters eingeschätzt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Risikoeinschätzung

Die BDF lassen sich nach ihrem Schadverdichtungsrisiko in drei Gruppen einteilen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Schadverdichtungsrisiko der BDF

Gruppe	Standorte	Risiko
1	Tschernosem, Braunerde, Pseudogley der Bodenarten Schluff, schluffiger Lehm	gering
2	Rendzinen der Bodenarten schluffiger Ton, Ton	sehr hoch
3	Braunerde, Pseudogley der Bodenarten lehmiger Sand, sandiger Lehm	hoch
4	Extensivgrünland alle Standorte	gering

3.2 Messung von Bodenzuständen

Im bisherigen Beobachtungszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:
Die gering gefährdeten Böden der Gruppe 1 waren zu Beginn der Dauerbeobachtung nicht schadverdichtet. Dieser von einer Luftkapazität > 8 Vol.-% (Krume) bzw > 5 Vol.-% (Unterboden) und einem kf-Wert > 10 cm/d als intakt gekennzeichnete Zustand ist erhalten geblieben. Im Unterboden zeigt sich sogar eine Tendenz zur Verbesserung der Luftkapazität und der Durchlässigkeit.
Die Pelosole der Gruppe 2 wiesen bereits zu Beginn der Bodenbeobachtung sehr niedrige Werte für die Luftkapazität und die Leitfähigkeit in allen Horizonten auf. Im Beobachtungszeitraum verbesserte sich die Durchlässigkeit nur zeitweilig nach dem Anbau tiefwurzelnder Pflanzen. Die nachfolgenden Druckbelastungen führten die Böden auf einen ungünstigen Gefügezustand zurück.

Tabelle 2: Gefügeentwicklung auf einem Boden der Gruppe 1 (Braunerde-Tschernosem)

Horizont [1]	Tiefe (cm)	Beginn	nach 2	nach 4	nach 6	nach 8 Jahren	Trend +/- [2] B.maß
Luftkapazität (Vol.-%)							
OK	0 - 15	25,7	17,5	17,0	21,7	28,1	+ 0,1
UK	15 - 30	23,7	15,5	14,4	15,8	17,0	-0,30
KB	30 - 40	15,2	12,9	9,9	11,3	12,0	-0,40
UB	> 45	10,8	11,5	11,4	14,6	15,9	+ 0,9
Wasserleitfähigkeit (cm/d)							
OK	0 - 15	99	155	36	27	771	+ 0,38
UK	15 - 30	134	192	45	72	170	- 0,01
KB	30 - 40	23	24	7	44	40	+ 0,33
UB	> 45	31	19	16	55	225	+ 0,57

1) OK= regelmäßig bearbeitete obere Krume, UK = periodisch bearbeitete untere Krume, KB= Krumenbasis, UB = Unterboden Fettdruck = Hinweis auf Schadverdichtung

2) Anstieg der Trendkurve

In den Böden der Gruppe 3 nahm die Luftkapazität im gesamten Profil ab. Die Leitfähigkeit zeigt diesen Trend nicht. Sie schwankt zwischen extrem hohen und ebenso extrem niedrigen Werten. Diese Dynamik ist das Ergebnis der Anlage von Vertikalporen, z.B. nach Tiefwurzlern und ihrer Zerstörung durch vor allem knetende Beanspruchung des Bodens.

Tabelle 3: Gefügeentwicklung auf einem Boden der Gruppe 2 (Tonmergel-Rendzina)

Horizont	Tiefe (cm)	Beginn	nach 2	nach 4	nach 6	nach 8 Jahren	Trend +/- B.maß
Luftkapazität (Vol.-%)							
OK	0 - 15	23,5	13,4	20,5	12,5	19,8	- 0,08
UK	15 - 30	16,4	11,2	7,9	13,0	7,1	- 0,49
KB	30 - 40	8,5	5,1	5,0	2,0	5,3	- 0,43
UB	> 45	6,0	1,4	2,8	1,8	3,2	- 0,21
Wasserleitfähigkeit (cm/d)							
OK	0 - 15	70	99	146	33	83	- 0,02
UK	15 - 30	9	37	85	58	4	+ 0,003
KB	30 - 40	1	12	4	7	0,2	- 0,05
UB	> 45	1	2	3	6	0,1	+ 0,02

Gefügeentwicklung auf einem Boden der Gruppe 3 (Braunerde)

Horizont	Tiefe (cm)	Beginn	nach 2	nach 4	nach 6	nach 8 Jahren	Trend +/- B.maß
Luftkapazität (Vol.-%)							
OK	0 - 15	18,7	15,1	16,5	7,0		-0,73
UK	15 - 30	14,6	10,1	9,7	6,2		-0,92
KB	30 - 40	8,9	7,9	4,2	2,8		-0,95
UB	> 45	7,9	8,0	**3,8**	**2,7**		-0,86
Wasserleitfähigkeit (cm/d)							
OK	0 - 15	395	81	179	126	14	- 0,61
UK	15 - 30	50	63	98	56	**2,0**	- 0,22
KB	30 - 40	13	16	25	14	**0,1**	- 0,24
UB	> 45	**3**	460	**8**	20	**0,2**	- 0,12

Das intakte Gefüge der Böden der Standorte der Gruppe 4 hat sich in den oberen Schichten nicht verändert, im Unterboden ist eine Verbesserung eingetreten.

Tabelle 5: Gefügeentwicklung auf Extensivgrünlandböden

Horizont	Tiefe (cm)	Beginn	nach 2	nach 4	nach 6 Jahren	Trend +/- B.maß
Luftkapazität (Vol.-%)						
OK	0 - 15	24,1	24,3	23,6	21,2	-0,01
UK	15 - 30	22,3	25,4	21,9	20,5	-0,31
KB	30 - 40	21,9	21,7	22,0	21,3	-0,39
UB	> 45	19,3	20,1	25,9	29,4	+0,94
Wasserleitfähigkeit (cm/d)						
OK	0 - 15	170	130	291	183	+0,14
UK	15 - 30	121	147	134	219	+0,69
KB	30 - 40	115	178	229	249	+0,96
UB	> 45	33	263	488	159	+0,16

Die ackerbaulich genutzten BDF wurden im Beobachtungszeitraum mit weitgehend übereinstimmender Technik und damit mit vergleichbaren Bodendrücken belastet. Dennoch entwickelte sich das Gefüge unterschiedlich. Dabei bestätigte sich die Prognose der Schadverdichtungsgefährdung.

Ursache ist die unterschiedliche Stabilität der Böden. Die Böden der Gruppe 1 sind druckstabil. Sie blieben im Beobachtungszeitraum intakt, der Unterboden konnte sich sogar verbessern. Die Ursache dafür ist im wiederholten Rapsanbau zu suchen. Der Raps hinterlässt weite Wurzelporen, die dank ihrer hohen Kontinuität die Durchlässigkeit des Bodens erheblich verbessern.

Bei den bereits geschädigten Böden der Gruppe 2 war keine weitere Verschlechterung eingetreten und auch nicht zu erwarten. Dennoch betätigten diese Böden das eingeschätzte hohe Schadverdichtungsrisiko, indem zeitweise Verbesserungen nach Rapsanbau immer wieder bereits im Folgejahr beseitigt wurden. Die Ursache ist die auf diesen Böden vorrangig knetende Beanspruchung durch den für diese Standorte zu hohen Bodendruck.

In der Gruppe 3 verschlechterte sich das Gefüge der Sandböden deutlich. Gegenüber den Böden der Gruppe 2 ist davon auch die untere Krume betroffen. Die Ursache der Gefügeverschlechterung ist ein für diesen Standort zu hoher Bodendruck. Die Ausdehnung in den Krumenbereich ist das Ergebnis einer mehrjährigen flachen Bodenbearbeitung mit Pflugverzicht ohne Reduzierung des Bodendruckes der Technik für die nachfolgenden Arbeitsgänge.

Das Gefüge der extensiv bewirtschaften Grünlandflächen blieb dagegen unabhängig von der Druckstabilität des Gefüges unverändert, im Unterboden zeigten sich sogar Verbesserungen. Diese Böden wurden mit wesentlich geringerem Druck als die Ackerstandorte belastet. Die Auswirkungen beschränken sich deshalb nur auf die obere Krume. Im Unterboden traten sogar Verbesserungen ein.

4. Schlussfolgerungen

Das Gefüge verändert sich in einem langwierigen Prozess. Entscheidend dafür ist Belastungsregime, das langfristig auf den Boden einwirkt. Es wird von den Radlasten und Aufstandsflächen der im gesamten Produktionsprozess eingesetzten Landtechnik und ihrer Einsatzstrategie sowie dessen Verhältnis zur Bodenstabilität bestimmt. Einzelereignisse wirken, auch wenn ihr Erscheinungsbild (Spuren, Bodenaufwölbungen) einen Gefügeschaden vermuten lässt, offensichtlich nur im Bearbeitungshorizont und nicht dauerhaft schädigend.
Veränderungen im Bewirtschaftungsregime (z.B. die Reduzierung der Bearbeitungstiefe) dagegen müssen auf ihre Auswirkungen auf das Verhältnis von Belastung und Belastbarkeit überprüft werden. Gegebenenfalls muss die Belastung verringert werden.

5. Literatur

DIN 19683-5: Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau. Physikalische Laboruntersuchungen. Teil 5: Bestimmung der Saugspannung des Bodenwassers. - Beuth, Berlin 1973

DIN 19683-9: Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau. Physikalische Laboruntersuchungen. Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben. - Beuth, Berlin 1998

HORN, R.; FLEIGE, H.: Prediction of the Mechanical Strength and Ecological Properties of Subsoils for a Sustainable Landuse. Landnutzung und Landentwicklung 42, 23-30 (2001)

Level I und II der Europäischen Union (EU) in den sächsischen Wäldern

Gerhard Raben, Henning Andreae, Frieder Leube, Frank Symossek
Sächsische Landesanstaltf für Forsten (LAF), Bonnewitzer Str. 34, D-01796 Pirna
gerhard.raben@laf.smul.sachsen.de

Zusammenfassung: *Grundlage der Umweltkontrolle in den sächsischen Wäldern durch die LAF ist ein seit 1993 sukzessive nach den Methoden des europäischen Level I bzw. II-Programms aufgebautes Monitoring-System. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen u. a., dass vor dem Hintergrund großflächig versauerter Waldböden die Stoffbelastungen durch Schwefelverbindungen stark zurückgegangen sind, während sie bezüglich der Stickstoffverbindungen anhaltend hoch sind. Diese Entwicklung spiegelt sich in den Überschreitungen der critical loads wider.*

Schlagworte: Level I, Level II, Bodenversauerung, Stoffbilanzen, critical loads

Einleitung

Die Umweltbeobachtung bzw. Untersuchungen in so komplexen Ökosystemen wie den Wäldern erfordert vor dem Hintergrund einer chemisch und klimatisch stark veränderten Umwelt ein umfassendes und abgestimmtes System der kontinuierlichen und periodischen Zustandsüberwachung. Deshalb wurde 1985 durch die Europäische Union (EU) im Rahmen der in den 80er Jahren zunehmenden und grenzüberschreitenden Waldschäden ein europaweites Monitoring-Programm ins Leben gerufen und seitdem laufend erweitert. Es umfasst zwei Intensitätsebenen (Level I und Level II) und hat sich mittlerweile zu einem bedeutenden Forum von Expertenwissen entwickelt und die Ergebnisse sind Grundlage für politische Entscheidungen im Rahmen der Umweltvorsorge. Dieses System, das auf abgestimmten und in umfangreichen Manualen festgelegten Methoden basiert, wurde seit 1993 auch in den sächsischen Waldökosystemen mit der Einrichtung von 8 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen zum kontinuierlichen und intensiven Monitoring (DBF = Level II) als Ergänzung zu den Untersuchungen des Level I-Programms auf dem 4 x 4 km-Raster [periodische Bodenzustandserhebung (BZE) und jährliche Waldschadensaufnahme (WSE)] eingeführt.

Material und Methoden

Vorrangiges Ziel der Bodenzustandserhebung (BZE) ist es, den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderung im Laufe der Zeit in Verbindung mit dem aktuellen Kronenzustand der Waldbäume zu erfassen und daraus Risiken für die Qualität von Grund-, Quell- und Oberflächenwasser abzuschätzen. Dabei erfolgt die Entnahme von Boden- und Humusproben für chemische Analysen in den Haupthimmelsrichtungen an 8 Satellitenpunkten in 10 m Entfernung vom jeweiligen zentralen Bodenprofil, die tiefenstufenmäßig zu Mischproben vereinigt werden. Wesentlich umfangreicher sind die aus kontinuierlichen und periodischen Erhebungen zusammengesetzten Untersuchungen auf den Level II-Flächen, deren Ziel in der Aufdeckung von Ursache- und Wirkungsbeziehungen der Waldschäden besteht (PCC, 1998).
Neben den laufenden Erhebungen zum Stoffhaushalt (Deposition, Stoffeinträge, Stoffausträge) über die Erfassung der Niederschläge und des Sicker- und Quellwassers in Verbindung mit kontinuierlichen meteorologischen Erhebungen, werden in unterschiedlichen zeitlichen Abständen v. a. Untersuchungen zum chemischen Bodenzustand, zur Vegetation, zum Zuwachs, zur Waldernährung sowie seit Juni 2001 auch Luftkonzentrationsmessungen zu NH_3, O_3, SO_2 und NO_2 („diffusive sampler") durchgeführt. Die dabei insgesamt gewonnenen Daten sind Grundlage auch für weitergehende Interpretationen, wie z. B. Auswertungen zur Überschreitung der critical loads (BECKER 2000, SMUL 2001).

Ausgewählte Ergebnisse

Aufgrund der Vielzahl von Untersuchungen sind im Folgenden nur einige der wichtigsten Ergebnisse aus dem sächsischen Level I und II-Programmen dargestellt. Für weiterführende Informationen wird auf den Berichtsband zur Bodenzustandserhebung (RABEN et al., 2000) und die jährlichen Waldzustandsberichte (SMUL 1998 bis 2001) verwiesen..

a) Level I (Bodenzustanderhebung BZE)

In den Wäldern Sachsens ist großflächig eine ausgeprägte *Bodenversauerung* festzustellen, deren negative Auswirkungen für das gesamte Waldökosystem vor allem auf den Einfluß durch Immissionen zurückzuführen sind. Mit Ausnahme einzelner sekundär aufgebaster Standorte des pleistozänen Tieflandes sowie der nährstoffreichen Auenböden und der Böden auf allerdings nur kleinflächig ausgebildeten basaltbeeinflußten Substraten, weisen die Oberböden bis in 30 cm Tiefe pH-Werte überwiegend weit unterhalb von 4,2 auf. Die weitaus größte Anzahl der untersuchten Standorte ist damit im Hauptwurzelbereich dem Aluminium-, Aluminium/Eisen- und Eisenpufferbereich zuzuordnen.

Die *Basensättigung* erreicht nur auf den vorgenannten besseren Sustraten sowie den überwiegend lößbeeinflußtend Standorten des Hügellandes – dann allerdings erst in größeren Bodentiefen – Werte oberhalb von 15% und die Elastizität der Böden gegenüber Säurestress ist entsprechend gering. Besonders niedrige Basensättigungen unter 5 % mit nur sehr geringen Elastizitäten bis in 90 – 140 cm Tiefe treten gehäuft auf den Graniten und Gneisen des Erzgebirges sowie im Verbreitungsgebiet des Quadersandsteins (Sächsische Schweiz) auf.

In etwa 90 % der Waldböden werden im Hauptwurzelbereich zwischen 10 und 60 cm Tiefe nur niedrige und mittlere *effektive Kationenaustauschkapazitäten* angetroffen. In Verbindung mit den überwiegend geringen Basensättigungsgraden stellt sich unter Säurebelastung oftmals eine pH-Wertabsenkung ein und die Böden gelangen in ein anderes Puffersystem.

Die überwiegend ungünstigen *Humusformen* sind Beleg für die Akkumulation von organischer Substanz auf der Mineralbodenoberfläche infolge gehemmter Streuzersetzung, wodurch dem Stoffkreislauf der Ökosysteme wesentliche Nährstoffmengen entzogen werden.

Hohe *Blei- und Kupfergehalte der organischen Auflagen* treten besonders im mittleren und östlichen Erzgebirge auf. Die höchsten Bleigehalte und Grenzwertüberschreitungen ergaben sich für den Freiberger Raum bis hinüber nach Altenberg. Bei Kupfer wird der Grenzwert besonders häufig in der Region um Oelsnitz, Stollberg und Aue südlich von Leipzig überschritten.

Untersuchungen zu *Elementrelationen im Boden-Wasser-Extrakt* aus 30 bis 90 cm Bodentiefe unterstreichen in Abhängigkeit von Basensättigung und pH-Wert eine auf den Sandstein-, Phonolith-, Gneis-, Schiefer- und Phyllit-Standorten deutlich ausgeprägte Gefährdung bzw. Beeinträchtigung des Feinwurzelwachstums und der Pflanzenernährung durch im Vergleich zu Kalzium und Magnesium unverhältnismäßig hohe Aluminiumgehalte der Bodenlösung. Dies ist auf Granitsubstraten weniger der Fall und auf Deck- und Volllössen im Hügellandsbereich erscheint ein Risiko durch Al-Toxizität in den betreffenden Tiefenstufen nicht wahrscheinlich.

Zwischen 1995 und 1999 hat sich die *Überschreitung der Critical Loads* für die Gesamtsäurebelastung von jährlich durchschnittlich 5,2 auf 1,7 keq/ha – also auf etwa ein Drittel – verringert. Während noch 1995 an 92 % der BZE-Punkte die Überschreitungen zwischen 3 und 5,5 keq/ha (Schwergewicht: 4 bis 5 keq/ha) lagen, zeigt die gleiche Anzahl von Punkten mittlerweile nur noch Überschreitungen von 0,5 bis 2 keq/ha (BECKER 2000); hohe Werte über 3 keq/ha werden nicht mehr festgestellt *(vgl. Abb. 1)*. Demgegenüber ist der Anteil der Stickstoffverbindungen an der rückläufigen Gesamtsäurebelastung von durchschnittlich 21 % auf 36 % gestiegen, obwohl im

Landesdurchschnitt die eutrophierenden Stickstoffeinträge abgenommen haben. Dies ist ein Ergebnis, das hauptsächlich auf den teilweise drastischen Rückgang der Luftbelastung mit Schwefelverbindungen zurückzuführen ist. Die Überlastung ist demnach z. Zt. stärker stickstoffbetont.

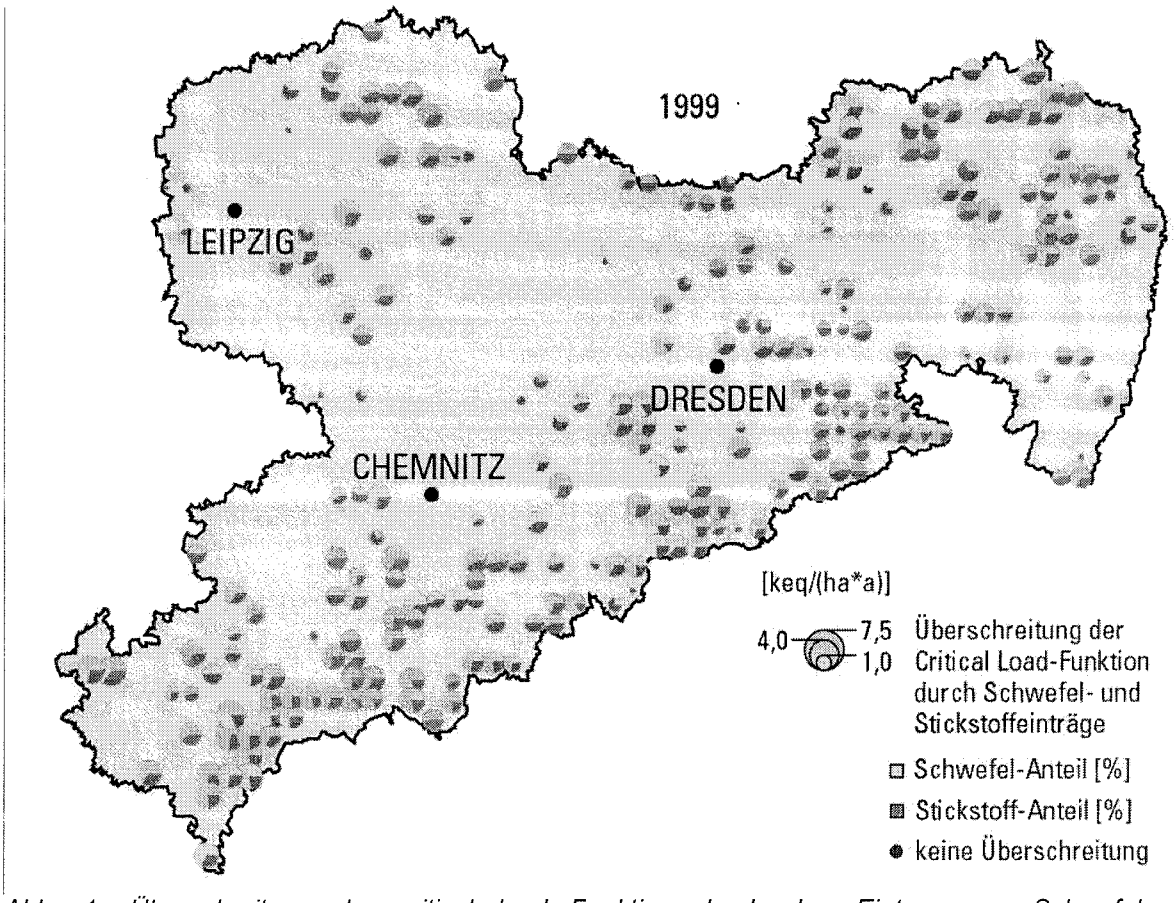


Abb. 1: Überschreitung der critical loads-Funktion durch den Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen an den Standorten der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im Jahr 1999.

b) Level II (Forstliche Dauerbeobachtungsflächen DBF)

Parallel zu den Schwefeldioxidkonzentrationen der Luft sind die *Schwefeleinträge* der Wälder besonders in den vormals hochbelasteten Regionen des Erzgebirges teilweise stark zurückgegangen. Zur Zeit schwanken die jährlichen Schwefeleinträge mit dem Bestandesniederschlag noch zwischen etwa 10 bis 20 kg pro Hektar *(vgl. Abbildung 2)* und bewegen sich damit auf einem europaweit vergleichbaren *Eintragsniveau.* Demgegenüber sind die Einträge von Stickstoff - trotz teilweise leichtem Rückgang - mit jährlich etwa 15 bis 30 kg/ha unverändert hoch und haben mittlerweile auf sämtlichen Messflächen die Schwefeleinträge deutlich überflügelt.

Die *S-Gehalte im Sicker- und Quellwasser* sind zwar kontinuierlich zurückgegangen, aber vielfach mehr als doppelt so hoch wie im Bestandesniederschlag *(vgl. Abbildung 3)*. Dies veranschaulichen einerseits, dass sich eine den Stoffeinträgen entsprechende Entwicklungen in den Böden fortsetzt. Andererseits existiert hinsichtlich des Schwefels offensichtlich eine Quellfunktion des Bodens. Denn Waldböden verfügen über eine Art „chemisches Gedächtnis". Sie haben im Verlauf der über Jahrzehnte hohen S-Deposition große Mengen Schwefel wie ein Schwamm in sich aufgenommen und gespeichert. Diese Schwefelvorräte werden unter den Bedingungen der momentan verminderten Schwefelbelastung wieder abgebaut und verstärkt mit dem Sickerwasser aus den Böden ausgetragen. Der Trend abnehmender S-Gehalte vollzieht sich auf den mehr oder weniger stark versauerten Waldböden folglich auf einem relativ hohen Konzentrationsniveau. Das gilt ebenfalls bezüglich der Aluminiumgehalte, die in engem Zusammenhang mit den bodenchemischen Prozessen der Schwefelmobilisierung auf versauerten Waldstandorten stehen.

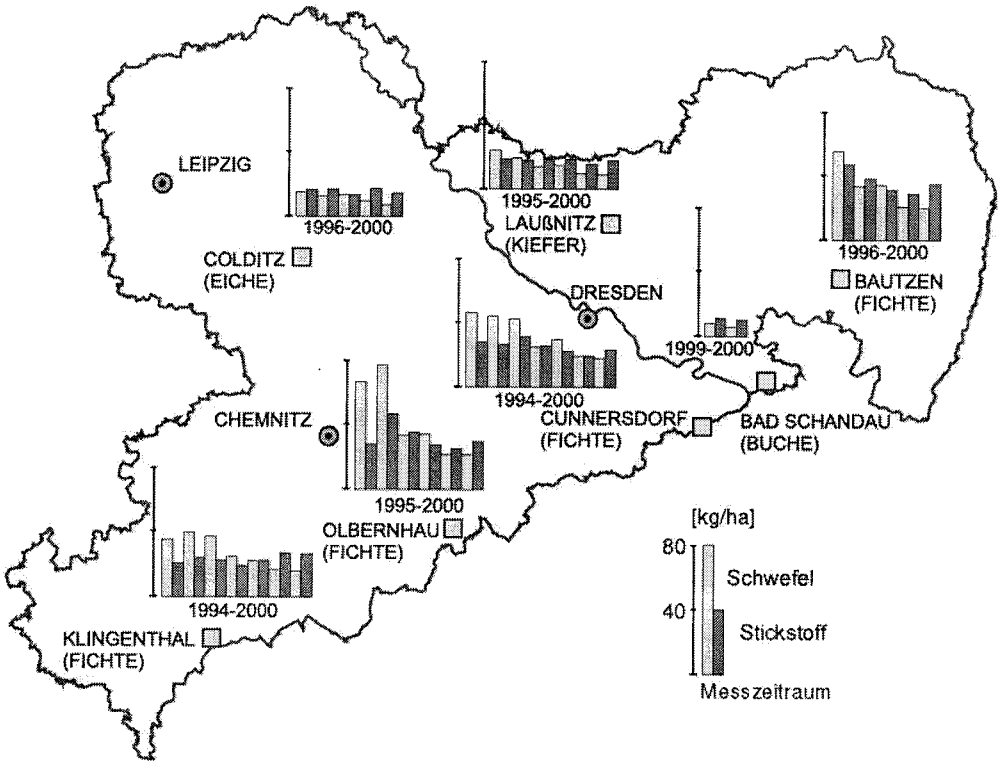


Abb. 2: Jährliche Einträge [kg/ha] von Schwefel (SO_4-S) und Stickstoff (NH_4-N und NO_3-N) im Waldbestand (Bestandesniederschlag) der Level II-Flächen

Teilweise sind erhebliche *Stickstoffausträge* festzustellen, die wiederum auf eine mögliche Stickstoffsättigung des Ökosystems verweisen. Beispielsweise können an den Fichtenstandorten Bautzen und Olbernhau Stickstoffausträge (als Nitrat) zwischen etwa 5 und 18 kg pro Hektar festgestellt werden.

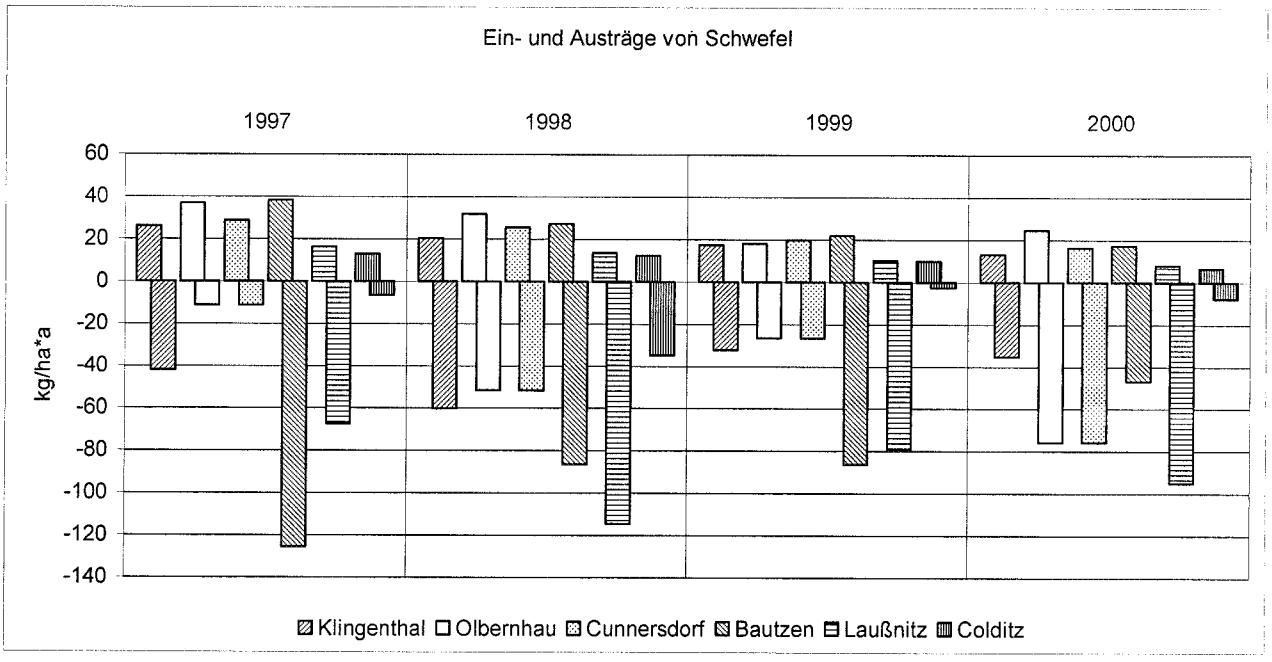


Abb. 3: Jährl. Einträge (Bestandesniederschlag) und Austräge (Sickerwasser) von Schwefel auf Level II-Flächen in Sachsen.

Eindrucksvoll wird der Belastungswandel der letzten Jahre anhand der *critical loads-Überschreitungen* auf den Flächen Cunnersdorf (östl. Erzgebirge) und Klingenthal (westl. Erzgebirge) deutlich *(vgl. Abbildung 4).* Während die Schwefeldeposition (Summe aus nasser und trockener Deposition) beider Flächen im Vergleich zu den Jahren 1994/95 auf etwa ein Drittel zurückgegangen ist und in Cunnersdorf bereits ein tolerierbarer Schwefeleintrag vorliegt, wird dort der zulässige Stickstoffeintrag durchgegend wesentlich stärker überschritten. Insgesamt hat sich in Cunnersdorf der Stickstoffanteil an der durch deponierte S- und N-Verbindungen induzierten Gesamtsäurebelastung von 37 auf 56% deutlich erhöht (Klingenthal: 48 auf 63%). Gleichzeitig verringerte sich jedoch die Überschreitung der Critical Load-Werte auf etwa ein Viertel des Ausgangswertes von 1994/95 (Klingenthal: 131 auf 31 %; Cunnersdorf: 91 auf 25 %). Dies ist als deutlicher Beleg für eine in den letzten Jahren verbesserte Umweltpolitik zu werten.

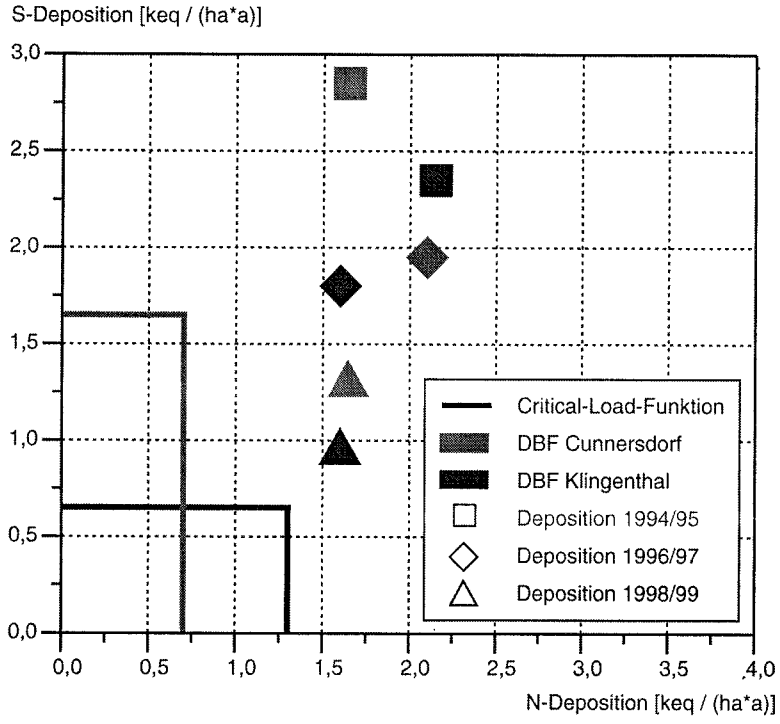


Abb. 4: Entwicklung der critical load-Überschreitungen zwischen 1994 und 1999 am Beispiel der Level II-Flächen Cunnersdorf u. Klingenthal

Literatur

BECKER, R. (2000): Erfassung und Kartierung der ökologischen Belastungsgrenzen - Critical Loads - für Sachsen (Abschlußbericht zum Werkvertrag mit der Fa. ÖKO-DATA, Strausberg)

RABEN, G., ANDREAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F., LEUBE, F. (2000_a): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992 – 1997). Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 18, Graupa.

RABEN, G.; ANDREAE, H. ; MEYER-HEISIG (2000_b): Long-Term Acid Load and its Consequences in Forest Ecosystems of Saxony (Germany). Water, Air and Soil Pollution 122: 93-103.

SMUL, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1998 - 2001): Waldschadens-/-zustandsberichte 1998 - 2001. Dresden.

PCC, PROGRAMME CO-ORDINATING CENTRE (1998): Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests / Programme Co-ordinating Centre (PCC). 4th Edition, Losebl.-Ausg. - Hamburg: 1998

Veränderung bodenchemischer Parameter von den 60-er Jahren bis heute (EU FAIR-Programm RECOGNITION in Sachsen)

Gerhard Raben, Henning Andreae, Frank Symossek, Wolfgang Katzschner, Rainer Gemballa
gerhard.raben@laf.smul.sachsen.de

Zusammenfassung: *Die vergleichende chemische Analyse von Bodenproben aus standortskundlichen Untersuchungen der 60er und 70er Jahre mit den Proben einer Wiederbeprobung der entsprechenden Bodenprofile im Jahre 1999 ergab fast durchweg eine deutliche Verringerung der Basensättigung und niedrigere pH-Werte im Unterboden.*

Schlagworte: RECOGNITION, Kationenaustauschkapazität (KAK), Basensättigung, pH-Werte, Pufferbereiche

Einleitung, Material und Methoden

Im Rahmen des europäischen RECOGNITION-Programms ("Relationships Between Recent Changes of Growth and Nutrition of Norway Spruce, Scots Pine and European Beech Forests in Europe") bestand für die Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF) die Möglichkeit, auf alte Bodenproben aus den 60/70er-Jahren zurückgreifen und somit durch eine erneute gemeinsame chemische Analyse von Alt- und Neuproben aus Waldböden von Fichte- [*Picea abies*], Kiefern- [*Pinus sylvestris*] und Buchenbeständen [*Fagus sylvatica*] nach den aktuellen Analysemethoden auf chemische Bodenveränderungen zu untersuchen (Kenngrößen: pH-Wert, Schwefel-, Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte, austauschbare Kationenaustauschkapazität [KAK]).

Ergebnisse und Diskussion

Erste Auswertungen zeigen gegenüber der Erstaufnahme aus den 60/70er Jahren in den organischen Auflagen sowohl deutliche Abnahmen als auch Zunahmen der *pH-Werte*. Letzteres ist häufig auf Kalkungsmaßnahmen zurückzuführen, so dass das durchschnittliche pH-Niveau in den Auflagehorizonten eher angestiegen ist.

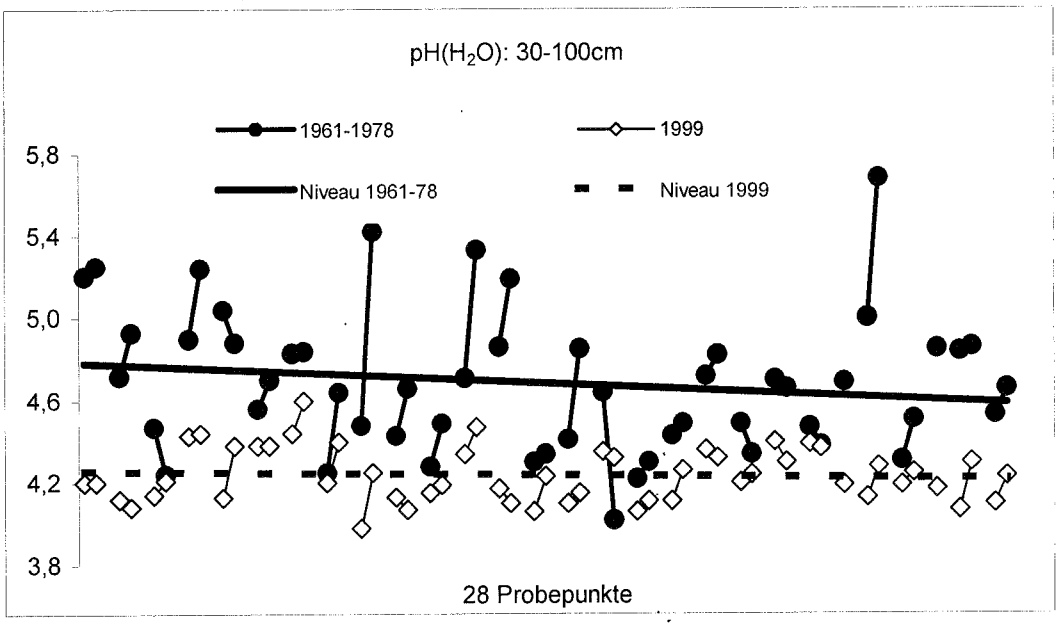


Abb. 1: Gegenüberstellung der pH(H_2O)-Werte von 28 Probepunkten der Alt- und Neubeprobung von Altweiserprofilen im Rahmen des „RECOGNITION"-Projektes in Sachsen

Daher kann davon ausgegangen werden, dass in den obersten Profilbereichen oftmals eine Verbesserung des chemischen Milieus eingetreten ist. Demgegenüber sind die pH-Wert im Unterboden fast durchweg um etwa eine halbe pH-Einheit eingebrochen *(vgl. Abb. 1)* und bewegen sich mittlerweile verstärkt im Übergang zum Aluminium-Pufferbereich zwischen pH 4,2 und 3,8. Eine deutlich verschlechterte Elastizität der Standorte wird auch durch die Entwicklung der Basensättigung bestätigt. Bis auf wenige Ausnahmen hat eine teils drastische Abnahme der *Basensättigung (vgl. Abbildung 2)* stattgefunden. Dies trifft für alle Bodensubstrate zu. Nur in seltenen Fällen liegt der kritische Basenanteil über 15 %.

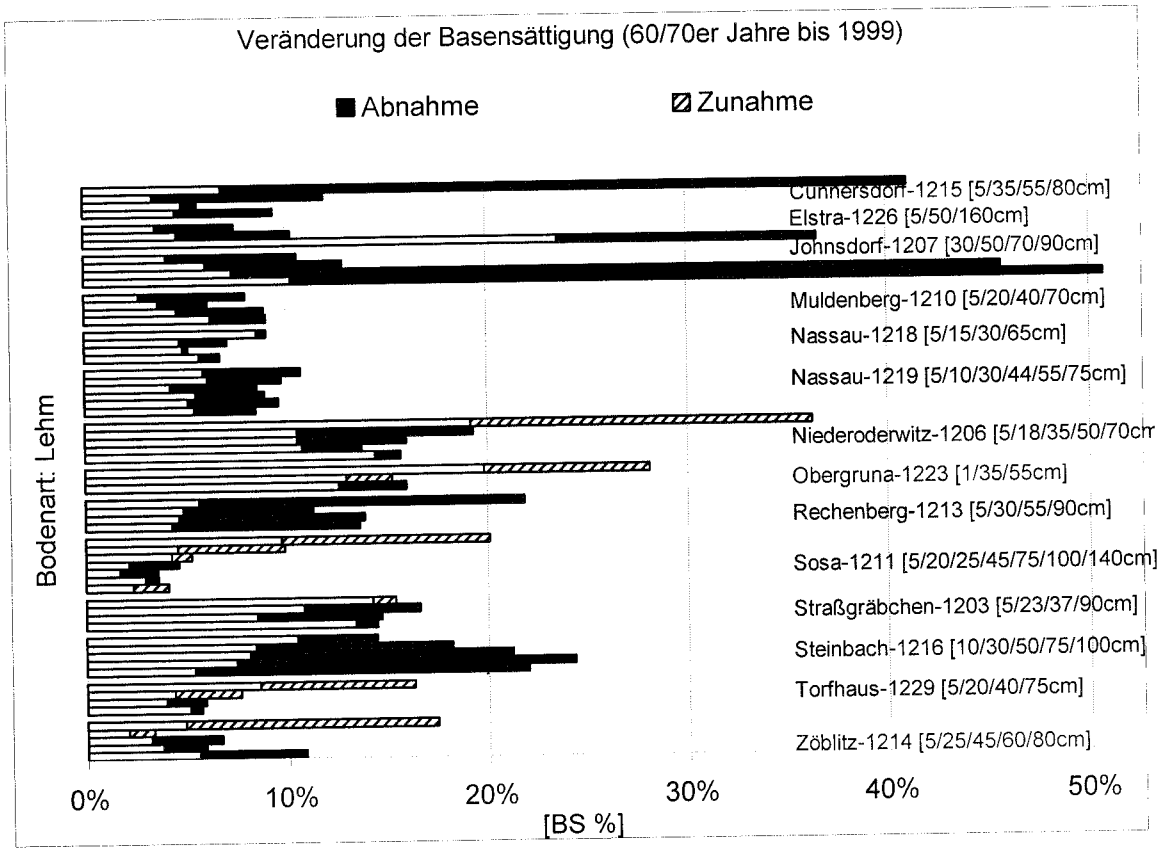


Abb. 2: Veränderung der Basensättigung im Mineralboden nach Tiefenbereichen aus dem Vergleich der Alt- und Neubeprobung von Altweiserprofilen im Rahmen des „RECOGNITION"-Projektes in Sachsen

Weitere Auswertungen sind in Verbindung mit den Zuwachsuntersuchungen und der Simulation der meteorologischen und Depositionsverhältnisse der letzten Jahrzehnte im Rahmen der Kooperation mit dem Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) für das Jahr 2002 geplant.

Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen

Schubert, A.
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Am Hochanger 11, 85354 Freising
e-mail: asc@lwf.uni-muenchen.de

Abstract: *The first poster shows the forest-BDF of the Bavarian State Institute of Forestry (LWF) in the bavarian BDF-cooperation and also in the LWF activities of soil protection in bavaria. The second poster presents a BDF description of the permanent forest soil monitoring plot „Fall" as a example with analysis results.*

Zusammenfassung: *Das erste Poster zeigt die Wald-BDF der Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) im Bayerischen BDF-Verbund und im Bayerischen LWF-Messnetz zum Bodenschutz im Wald. Auf dem zweiten Poster wird ein „Flächen-Steckbrief" der Wald-BDF „Fall" als Beispiel mit Auswertungsergebnissen vorgestellt.*

Keywords: permanent forest soil monitoring plots, soil protection;
Schlagworte: Waldboden Dauerbeobachtungsflächen, Bodenschutz;

Poster 1

Wald-BDF im Bayerischen BDF-Verbund.

Die 77 Wald-BDF der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) sind der forstliche Beitrag zum Bayerischen Bodeninformationssystem (BIS) in dem die LWF mit der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) mit 133 BDF und dem Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA) mit 61 BDF, zusammenarbeitet.
Durch diese Arbeitsteilung werden die unterschiedlichen Landnutzungsformen Bayerns nach einheitlichen Gesichtspunkten erfasst.

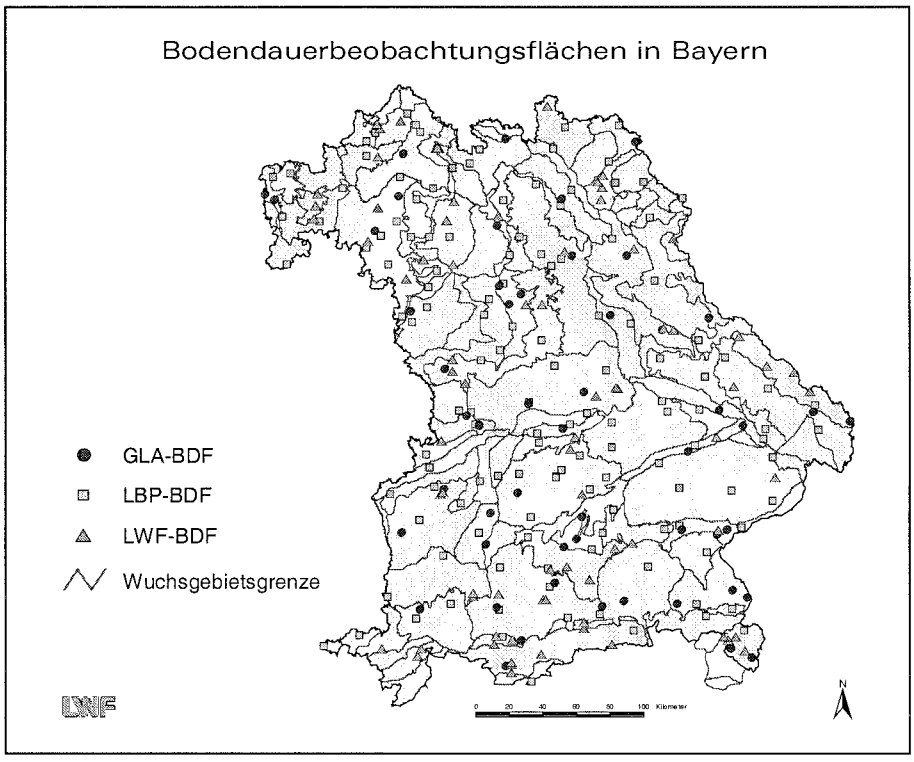


Abbildung 1: Bodendauerbeobachtungsflächen von LWF, LBP und GLA in Bayern.

Wald-BDF im Bayerischen LWF-Messnetz zum Bodenschutz im Wald.
Im Rahmen des Messnetzes zum Bodenschutz im Wald nehmen die 77 Wald-BDF eine Mittelstellung zwischen der Waldbodeninventur (WBI=BZW) mit 424 Punkten im 8x8 km Raster und den 22 Waldklimastationen (WKS) ein.

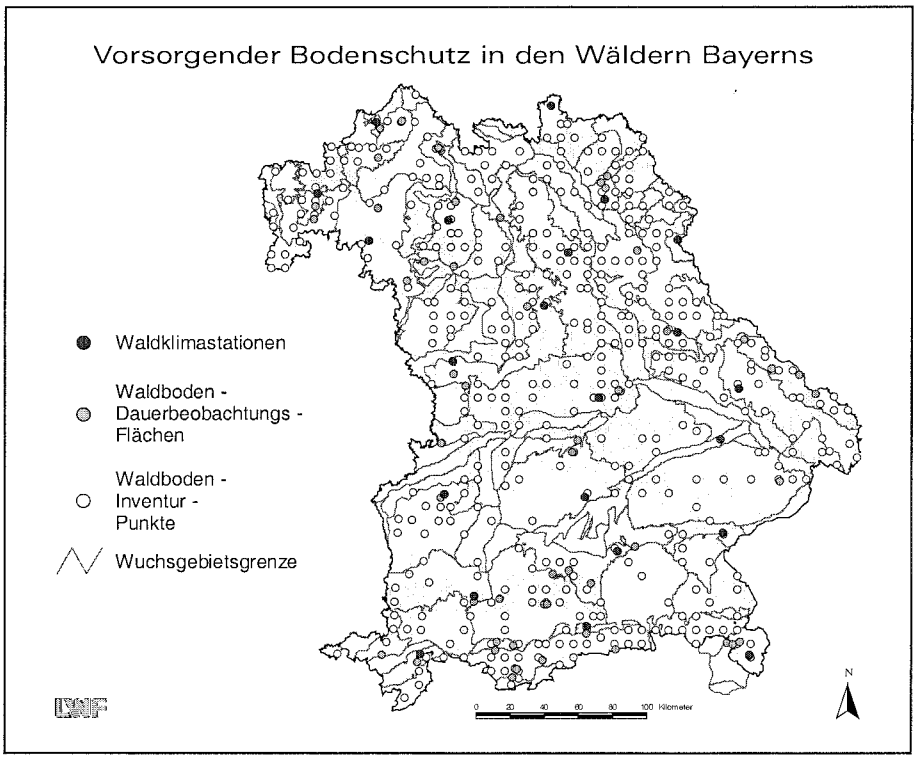


Abbildung 2: Messnetz der LWF in Bayerns Wäldern.

Poster 2

Flächen-Steckprief: Beispiel Wald-BDF „Fall“

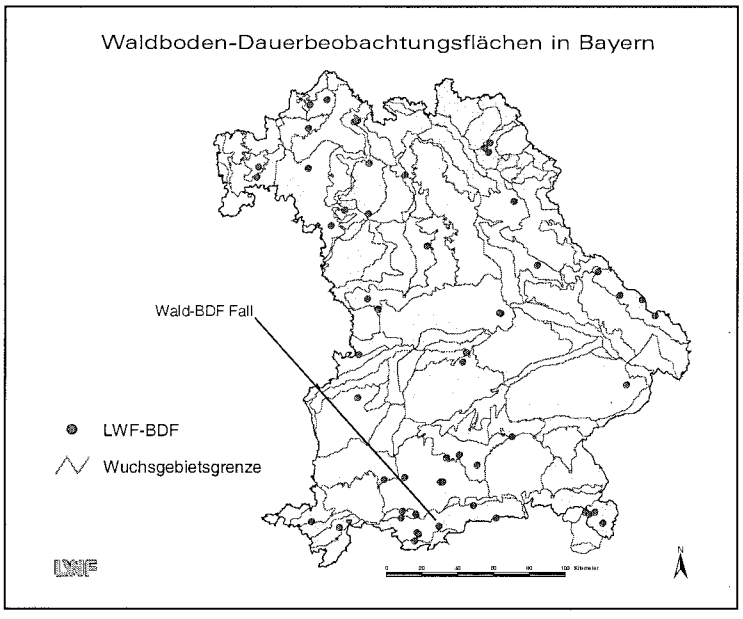


Abbildung 1: Lage der Wald-BDF „Fall“.

Waldboden-Dauerbeobachtungsfläche: 48 Fall

Forstamt:
- Bad Tölz

Waldort:
- XIV. Altlachberg, 11. Scheibelmoos, b [1]

Forstliches Wuchsgebiet:
- WG 15 (Bayerische Alpen)
- WB 5 (Mittlere Bayerische Kalkalpen)

Relief:
- Höhe ü. NN.: 1115 m
- Hangneigung: 8°
- Hanglage: Unterhang
- Exposition: Nordwest

Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur:
- 4 °C

Mittlere Jahresniederschlagssumme:
- 1750 mm

Vegetation:
- Hainlattich - Tannen - Buchenwald (Aposerido - Fagetum)

Bestand:
- Fi-Ta-Bestand (123 jährig 1982)

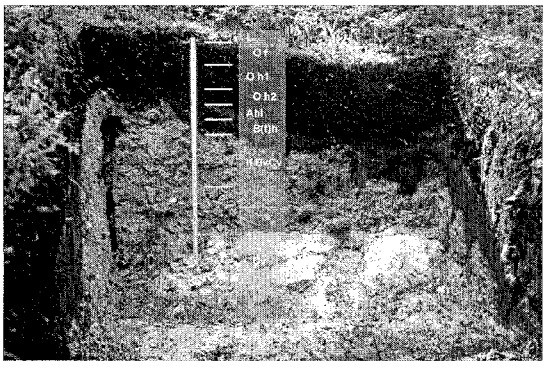


Abb. 2: Bodenprofil mit Horizontierung

L, Of, Oh1, Oh2 (30 cm); Humusauflage aus Fi.- Ta.- Bu.- Streu

Ahl (7 cm); sehr stark humoser, tonverarmter, schwach steiniger, sandig-lehmiger Schluff

B(t)h (7 cm); stark humoser, schwach tonangereicherter, schwach steiniger, mittel toniger Lehm

IIBvCv (20 cm); schwach humoser, schwach verbraunter, sehr carbonatreicher, stark steiniger, schluffiger Lehm

Cv (50 cm +); sehr carbonatreicher, sehr stark steiniger, schwach sandiger Lehm

Substrat:
- Triassischer Dolomit (hd) (Hauptdolomit)

Standortseinheit:
- Humus - Karbonatboden auf Dolomitgrus, schluffiger Lehm (uL)

Bodentyp (KA 4):
- Parabraunerde - Braunerde über Dolomitgrus

Bodentyp (FAO):
- Haplic Luvisol

Humusform:
- Tangelhumus

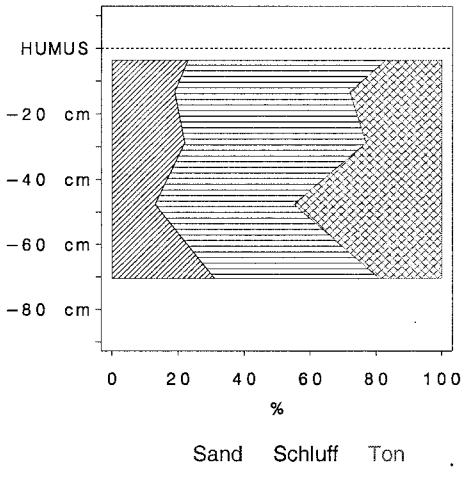


Abb. 3: Korngrössenverteilung der Feinbodenfraktion im Profil

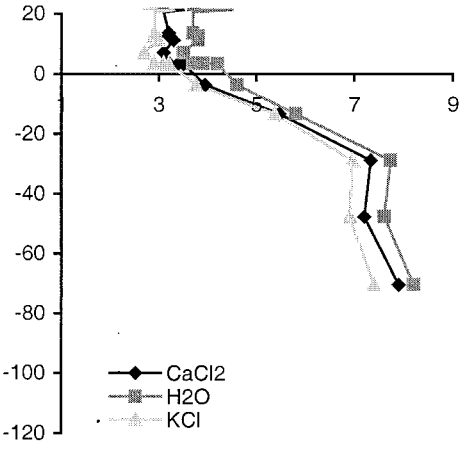


Abb. 4: pH-Tiefengradienten im Profil

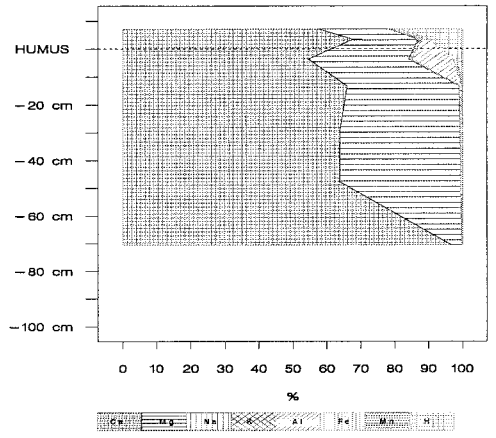


Abb. 5: Austauscherbelegung im Profil

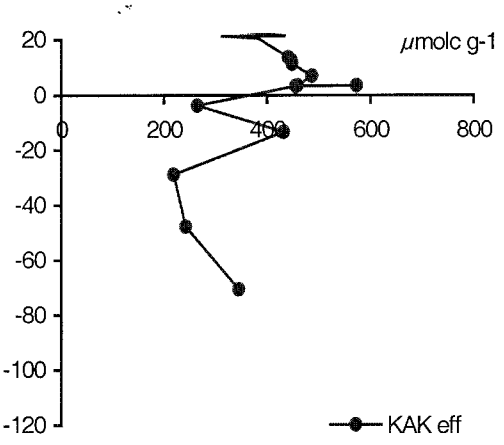


Abb. 6: Austauschkapazität (KAK eff) im Profil

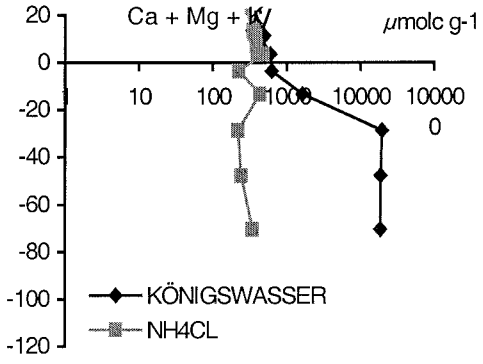


Abb. 7: Summen der Nährstoff-Kationen Ca, Mg, und K im NH_4Cl-Extrakt und im König-swasseraufschluss

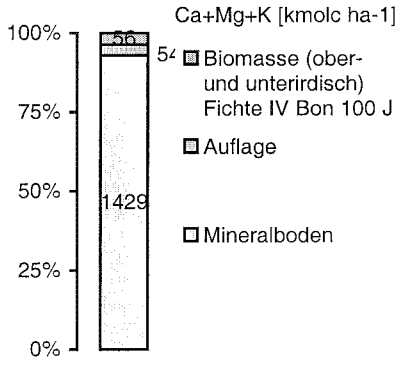


Abb. 8: Vorräte der austauschbaren Nährstoff-Kationen Ca, Mg, und K (Basenvorräte)

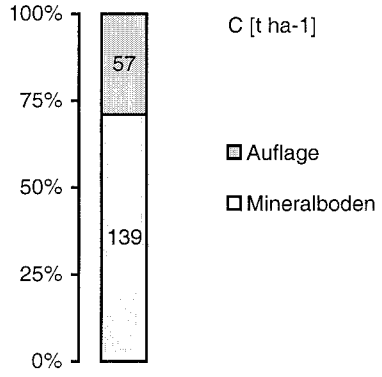


Abb. 9: Vorräte an organischem Kohlenstoff

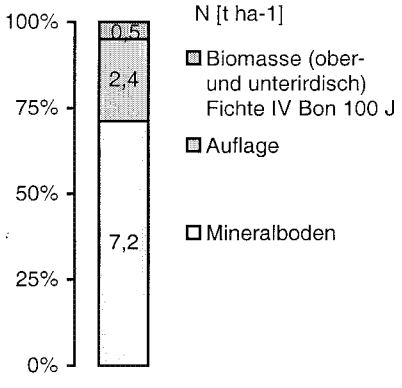


Abb. 10: Vorräte an Gesamt-Stickstoff

Literatur

SCHUBERT, A. (2002): Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen. –Bodenuntersuchungen- . Forstliche Forschungsberichte, München 2002, 232 S..

Teilnehmerliste zur Tagung „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern"
Umweltbundesamr, Berlin 16./17. April 20002

Dr. Josef Backes
Ministerium f. Umwelt und
Forsten Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz

Dr. Natalja Barth
Landesanstalt für Umwelt und
Geologie Sachsen
Halsbrückerstr.31a
09599 Freiberg

Johannes Bauchhenß
Bayerische Landesanstalt für
Bodenkultur und Pflanzenbau
Vöttinger Str. 38
85354 Freising

Dr. Albrecht Bauriegel
Landesamt für Geologie und
Rohstoffe Brandenburg
(LGRB)
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Dr. Joachim Block
Forschungsanstalt für
Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptsrt. 16
67705 Trippstadt

Dr. Heinz Burger
FU Berlin, Institut für
Geologische Wissenschaften,
AG Geomatik
Malteserstr. 74-100
12249 Berlin

Dr. Thomas Delschen
Landesumweltamt NRW
Walneyerstr. 6
45133 Essen

Dr. Katja Dittrich
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und
Rohstoffe
Stilleweg 2
30 655 Hannover

Ulrich Drolshagen
Hessisches Landesamt für
Umwelt und Geologie
Postfach 32 09
65022 Wiesbaden

Dr. Karl-Heinz Emmerich
Hessisches Landesamt für
Umwelt und Geologie
Postfach 32 09
65022 Wiesbaden

Dr. M. Filipinski
Landesamt für Natur und
Umweltschutz Schleswig-
Hollstein
Hamburger Chausse 25
24220 Flintbeck

Dagmar Fritzsch
Hessisches Landesamt für
Umwelt und Geologie
Postfach 32 09
65022 Wiesbaden

Dr. Joachim Gehrmann
Landesanstalt für Ökologie,
Bodenordnung, NRW
Leibnizstr. 10
45659 Recklinghausen

Dr. Frank Glante
Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin

Manfred Goedecke
Senatsverwaltung für
Stadtentwicklung, Berlin
Brückenstr. 6
10179 Berlin

Teilnehmerliste zur Tagung „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern"
Umweltbundesamr, Berlin 16./17. April 20002

Thomas Haußmann
Bundesministerium für
Verbraucherschutz,
Ernährungund Landwirtschaft
Postfach 14 02 70
53 107 Bonn

Burkhard Hielscher
Ministerium für Umwelt, Natur
und Forsten des Landes
Schleswig-Holstein
Postfach 5009
24062 Kiel

Achim Hildebrandt
Landesamt für Natur und Umwel
Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek

Dipl. -Geol. Ute Hinrichs
Thüringer Landesanstalt für
Umwelt und Geologie
Carl-August-Allee 8 - 10
99423 Weimar

Michael Hüllenkrämer
Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
14191 Berlin

Dr. Gerd Huschek
IUQ Institut für Umweltschutz u
Qualitätssicherung, Dr. Krengel
GmbH
Konsumhof 1-5
14482 Potsdam

Frank Idler
Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie,
Mecklenburg-Vorpommern
LUNG
Goldbergstr. 12
18273 Güstrow

Tilo Kaiser
FU Berlin, Institut für Geologie,
Geophysik und Geoinformatik
Malteserstr. 74-100
12249 Berlin

Matthis Kayser
Landesamt für Geologie und
Rohstoffe Brandenburg (LGRB)
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Dr. Berd Kleefisch
Bodentechnisches Institut
Bremen des NLFB
Friedrich-Mißler-Str. 46/50
28211 Bremen

Dr. Nils König
Niedersächsische Forstliche
Versuchsanstalt
Grätzelstr.2
37079 Göttingen

Dr. Dietmar Krengel
IUQ, Dr. Krengel GmbH
Grüner Weg 16 a
236936 Greversmühlen

MR Prof. Dr. Hans Walter
Louis
Niedersächsisches
Umweltministerium
Postfach 41 07
30041 Hannover

Dr. Annette Marschner
Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
14191 Berlin

Dr. Henning Meesenburg
Niedersächsische Forstliche
Versuchsanstalt
Grätzelstr.2
37079 Göttingen

Teilnehmerliste zur Tagung „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern“ Umweltbundesamr, Berlin 16./17. April 20002

Friedrich Metzger
Landesumweltamt NRW
Postfach 103439
70029 Stuttgart

Dr. Gunnar Meyenburg
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und
Rohstoffe
Stilleweg 2
30 655 Hannover

Christa Müller
Bayerische Landesanstalt für
Bodenkultur und Pflanzenbau
Vöttinger Str. 38
85354 Freising

Frau Neuhahn
Senatsverwaltung für
Stadtentwicklung, Berlin
Brückenstr. 6
10179 Berlin

Dr. Thomas Nöltner
Landesanstalt für Umweltschutz,
Baden-Württemberg
Griesbachstraße 1
76185 Karlsruhe

Werner Nonnenmacher
Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Dr. Rainer Paul
Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft, TLL
Naumburger Str. 98
07743 Jena

Prof. Dr. Asaf Peckdeger
FU Berlin, Institut für
Geologische Wissenschaften,
AG Hydrogeologie
Malteserstr. 74-100
12249 Berlin

Irene Petschelies
Behörde für Umwelt und
Gesundheit, Hamburg
Billstr. 84
20539 Hamburg

Dr. Gerhard Raben
Sächsische Landesanstalt für
Forsten
Bonnewitzer Str. 34, OT
Graupa
01796 Pirna

Alfred Schubert
Bayerische Landesanstalt für
Wald und Forstwirtschaft
Am Hochanger 11
85 354 Freisingen

Dr. Rüdiger Schultz-Sternberg
Landesumweltamt Brandenburg,
LUA
Postfach 60 106
14410 Potsdam

Dr. Peter String
Landesamt für Geologie und
Bergwesen Sachsen-Anhalt
(LAGB)
Köthener Str. 34
06118 Halle

Hans-Albert Volz
Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft
Postfach 14 02 70,
53107 Bonn

Karlheinz Weinfurther
Frauenhofer Institut IME
Auf dem Aberg 1
57392 Schmallenberg

Teilnehmerliste zur Tagung „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern"
Umweltbundesamr, Berlin 16./17. April 20002

Matthias Welker
Landesamt für Umweltschutz
Sachen- Anhalt
Reidebergerstr.47
06116 Halle (Saale)

Dr. M. Weller
Landesamt für Geologie und
Bergwesen Sachsen-Anhalt
(LAGB)
Kothener Str. 34
06118 Halle

Beate Werner
Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin

Dr. Andreas Winkler
FU Berlin; Institut für
Geologie, Geophysik und
Geoinformatik
Malteserstr. 74-100
12249 Berlin