



STATUSBEPROBUNG VON BODENDAUER- BEOBACHTUNGSFLÄCHEN IN RHEINLAND-PFALZ



Statusbeprobung von Bodendauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

VERFASSER

U. Dehner

TEXT UND GRAPHIK

M. Jung, T. Wiesner

PROFILAUFNAMMEN

U. Steinrücken

AUFTRAGGEBER

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

AUFTRAGNEHMER

Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz

HERAUSGEBER

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

Mainz 2012

IMPRESSUM

Herausgeber

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

Projektkoordination

Dr. J. Backes¹
Dipl. Geol. M. Chudziak²

¹ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie
und Landesplanung Rheinland-Pfalz
Stiftsstraße 9
55116 Mainz

² Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

Autoren

Dr. U. Dehner¹
Cand. Geogr. M. Jung¹
Dr. U. Steinrücken²
Dipl. Geogr. T. Wiesner¹

¹ Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Str. 5
55129 Mainz

² Soilution GbR, Steinrücken – Behrens
Illinger Str. 115
66265 Heusweiler

Kurzfassung

Im Jahr 2009 wurden durch das Landesamt für Geologie und Bergbau sechzehn Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) auf forstlichen Umweltkontrollstellen angelegt. Die Bodendauerbeobachtung ist ein Instrument der langfristigen Überwachung der Veränderungen von Bodenzuständen und Bodenfunktionen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes.

Der räumliche Schwerpunkt liegt in den Mittelgebirgen von Rheinland-Pfalz. Aus emissionsökologischer Sicht repräsentieren die BDF industrieferne Reinluftgebiete, die ausschließlich durch atmosphärische Stoffeinträge gekennzeichnet sind. Darüber hinaus sind alle Flächen von waldbaulichen Maßnahmen ausgenommen, so dass lokale Effekte der Bodenveränderung und Schadstoffzufuhr weitgehend ausgeschlossen sind.

Insgesamt wurden mehr als 800 Proben genommen und an Teilkollektiven bodenchemische und bodenphysikalische Parameter untersucht. In Bezug auf umweltrelevante Fragestellungen können folgende Kernpunkte herausgestellt werden:

- Die pH-Werte als ein Maß für die Bodenversauerung liegen insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau. Dies ist zum einen durch die basenarmen Boden bildenden Substrate und zum anderen durch atmosphärische Säureinträge bedingt. Eine Pufferung durch Waldkalkungsmaßnahmen ist an den BDF-Standorten nicht gegeben, so dass hier eher niedrigere Werte als in vergleichbaren Waldregionen auftreten.
- Die Belastung mit Schwermetallen ist in den meisten Fällen als gering zu bezeichnen. Eine Ausnahme bildet das Schwermetall Blei mit einer Anreicherung in den organischen Auflagen und im humosen Oberboden. Eintragsquelle dürften bleihaltige Benzinzusätze sein. Die Waldböden bilden diesbezüglich ein Gedächtnis für historische Umweltbelastungen. Ähnliche Effekte liegen bei dem Isotop Cäsium 137 vor als Hinweis auf den radioaktiven Fallout der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl.
- Das Niveau der Belastung mit organischen Schadstoffen kann ebenfalls als niedrig bezeichnet werden. Trotzdem ist bemerkenswert, dass in nahezu allen Proben Dioxine und Furane nachweisbar sind. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die ubiquitäre Verbreitung dieser Schadstoffe.
- Die Ergebnisse der Untersuchung bieten weiterhin einen Überblick zu den bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften der untersuchten Waldstandorte. Darüber hinaus liegen Angaben zu den im Boden gespeicherten Nährstoff- und Kohlenstoffmengen vor. Damit können auch Beiträge zum Nährstoffstatus und zur Kohlenstoffspeicherung in rheinland-pfälzischen Waldböden geliefert werden.

Detaillierte weitere Ergebnisse zu den einzelnen BDF sind in dem anliegenden Bericht dokumentiert. Damit liegt für Rheinland-Pfalz der Startpunkt der Messreihe für das bundesweite Bodendauerbeobachtungsprogramm vor.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Methodik, Konzeption	2
2.1.	Probenahme.....	4
2.1.1.	Probennahme Schurf	6
2.1.2.	Probennahme Eckpunkte	6
2.1.3.	Probennahme Kernfläche.....	8
2.2.	Labormethoden	9
2.3.	Berechnung von Elementmengen	14
2.4.	Datenmanagement.....	15
3.	Ergebnisse der Beprobung der Schurfe und Eckpunkte.....	16
3.1.	Bodenchemische Standardparameter	16
3.2.	Spurenelemente.....	16
3.3.	Organika	17
3.4.	Porenvolumina, Trockenrohdichten	22
3.5.	Vergleich der Trockenrohdichten von Stechzylindern und Stechkappen.....	24
4.	Ergebnisse der Flächenbeprobung	25
5.	Humus- und Elementvorräte.....	26
5.1.	Organische Auflagen.....	26
5.2.	Elementvorräte in organischen Auflagen und Mineralboden.....	26
6.	Literatur	30

Anhang: Dokumentation der Messergebnisse der Bodendauerbeobachtungsflächen

1. EINLEITUNG

Mit Verwaltungsvereinbarung vom 26. November 2008 wurde das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz durch das Landesamt für Umweltschutz, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht mit der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) auf 16 forstlichen Umweltkontrollstellen beauftragt. Die Bodendauerbeobachtung ist ein Instrument der langfristigen Überwachung der Veränderungen von Bodenzuständen und Bodenfunktionen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Sie verfolgt nach BARTH et al. (2000) die folgenden Ziele:

- Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden
- langfristige Überwachung der Veränderungen von Böden
- Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung.

Konzeptionell handelt es sich bei den eingerichteten Flächen um Basis - BDF mit dem Ziel der Erfassung von Bodenmerkmalen und deren Veränderung im Rahmen periodischer Erhebungen. Damit liegt für Rheinland-Pfalz der Startpunkt der Messreihe für das bundesweite Bodendauerbeobachtungsprogramm vor.

Die im Jahr 2009 eingerichteten BDF sind eingebunden in ein bereits bestehendes Messnetz der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF). Durch die FAWF wurden in den Jahren 1989 bis 1991 forstliche Umweltkontrollstellen auf emissionsfernen Standorten angelegt. Auf diesen Flächen sollen durch periodische und kontinuierliche Messungen Zustandsänderungen des Waldbodens unter dem Einfluss von Luftschadstoffeinträgen beobachtet und dokumentiert werden. Um Störungen der Boden- und Humusentwicklung im Zuge von Waldbaumaßnahmen auszuschließen, wurden die Flächen umzäunt und schonend bewirtschaftet (ZOTH & BLOCK 1993, BLOCK 2002). Das Beprobungskonzept der FAWF unterscheidet sich in einigen Punkten von den Vorgaben der bundesweiten Bodendauerbeobachtung, so dass ergänzende Untersuchungen erforderlich sind.

Durch die Nutzung der vorhandenen Beobachtungsflächen konnten jedoch Synergien zwischen den forstlich orientierten Untersuchungen der FAWF und der bundesweiten Bodendauerbeobachtung erzeugt werden, so dass beide Projekte von dem neu geschaffenen Datensatz profitieren.

2. METHODIK, KONZEPTION

Die Flächen befinden sich im wesentlichen in den Mittelgebirgsregionen von Pfälzer Wald Hunsrück, Eifel und Westerwald. Darüber hinaus liegen zwei BDF in der Oberrheinischen Tiefebene sowie eine BDF im Bereich des Saar-Nahe-Berglandes (s. Abbildung 1).

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Boden bildenden Gesteinen der Standorte. Den Hauptanteil bilden basenarme devonische Sedimentgesteine des rheinischen Schiefergebirges. Des weiteren finden sich aber auch vulkanische Gesteine unterschiedlichen Alters, deren Entstehungszeitraum vom Rotliegenden über das Tertiär bis hin zu den jungen Ablagerungen des Eifelvulkanismus reicht.

Tabelle 1: Liste der BDF-Standorte

BDF-Nr.	Forstamt/BDF	Ausgangsgesteine der Bodenbildung
1	Kandel/Schaidt	fluviatiler Sand (Quartär)
2	Merzalben	Sandstein (Buntsandstein)
3	Johanniskreuz	Sandstein (Buntsandstein)
4	Waldmohr	Sandstein (Oberkarbon)
5	Kirchheimbolanden	Rhyolith (Rotliegend)
6	Idar-Oberstein	Quarzit (Devon)
7	Morbach	Quarzit (Devon)
8	Adenau	Silt- und Feinsandstein (Devon)
9	Hermeskeil 1	Sandstein (Devon)
10	Hermeskeil 2	Sandstein (Devon)
11	Schneifel 2	Ton- und Siltstein (Devon)
12	Schneifel 1	Quarzit (Devon)
13	Neuhäusel 1	Bimslapilli, Lösslehm (Quartär)
14	Neuhäusel 2	Sandstein (Devon)
15	Hagenbach	fluviatiler Sand (Quartär)
16	Wallmerod	Basalt (Tertiär)



Abbildung 1: Lage der forstlichen Bodendauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

2.1. Probenahme

Eine BDF besteht aus einer Kernfläche mit der Kantenlänge von 50 m (s. Abbildung 2). Sie liegt innerhalb eines umzäunten Bereiches variabler Größe. Die Eckpunkte der Kernfläche sind mit Vermessungspfoften gekennzeichnet, die per GPS eingemessen wurden. Auf der Kernfläche sind 4 Reihen mit jeweils 6 Rasterpunkten markiert.

In dem Bereich zwischen Umzäunung und Kernfläche wurde ein Bodenschurf ausgehoben, um Horizontierung und Schichtung des Bodens genauer zu untersuchen. Darüber hinaus wurden aus den Bodenschurften Proben für bodenphysikalische Untersuchungen entnommen.

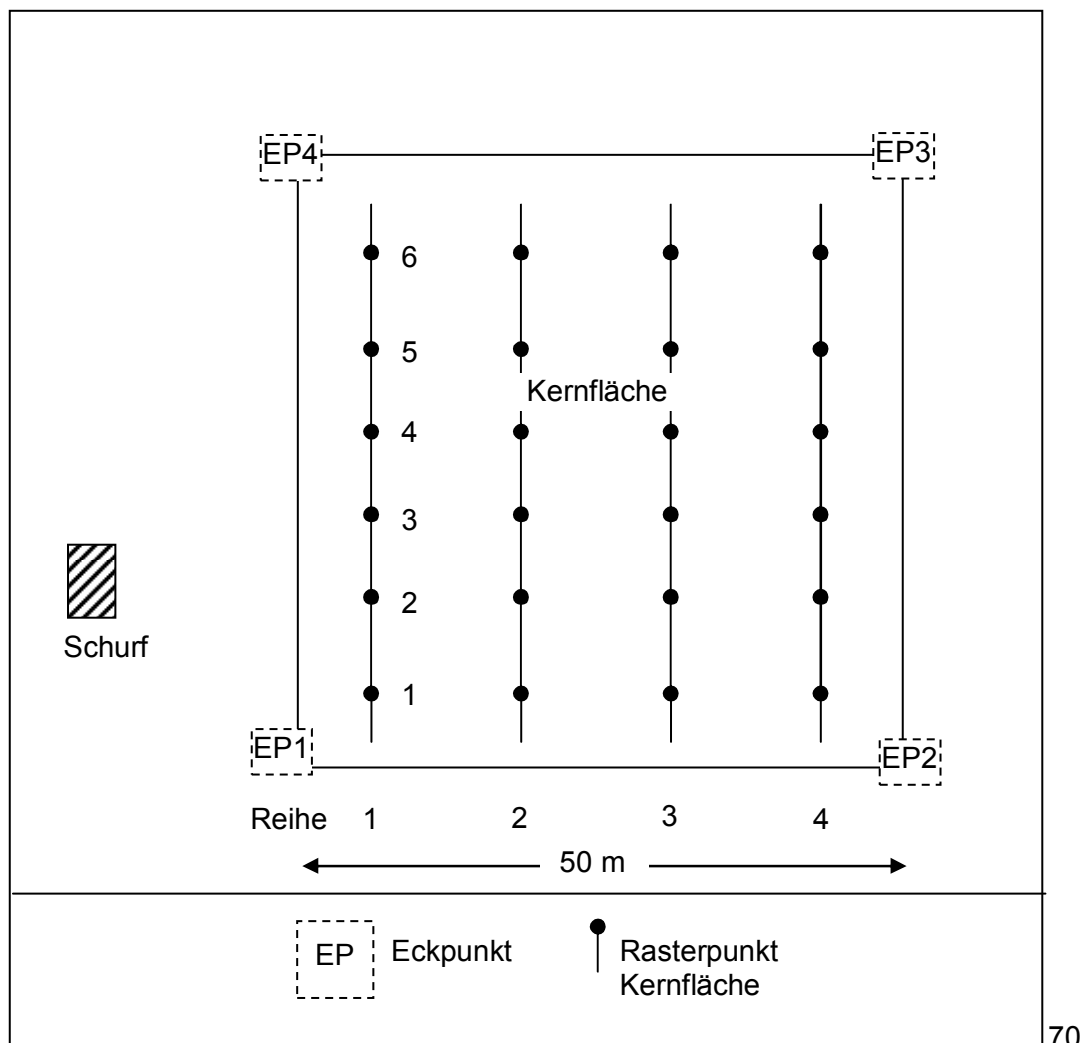


Abbildung 2: Schemazeichnung einer Beprobungsfläche

Die Konzeption der Probennahme am Schurf, an den Eckpunkten und auf der Kernfläche orientiert sich an den Vorgaben von BARTH et al. (2000). Um eine Vergleichbarkeit mit den

bisherigen Untersuchungen der FAWF zu gewährleisten, erfolgte in einigen Punkten jedoch eine Veränderung des Probennahmekonzeptes (s. Tabelle 2).

Die bodenkundliche Ansprache der Schurfe und Rammkernsondierungen sowie die Dokumentation der Proben erfolgte nach dem Erfassungsstandard des Fachinformationssystems Boden des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz. Grundlage des Erfassungsstandards sind die Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 1994, 2005).

In Tabelle 2 wird eine Übersicht zur Probennahme gegeben. Eine detaillierte Beschreibung folgt in den Kap. 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3.

Tabelle 2: Probennahmeschema für die Punkt- und Flächenbeprobung der BDF

	Probennahmegerät	Material	Analytik
Schurf	Edelstahlkelle	Boden: Horizont bezogen	Bodenkundliche Standardanalytik, Schwermetalle
	Stechzylinder (100 cm ³)	Boden: Horizont bezogen	Trockenrohdichte, Porenvolumina
	Stechkappen	Boden: Horizont bezogen bei steinigem Horizonten	Trockenrohdichte
Eckpunkte der Kernfläche	Stechrahmen, Murach'scher Wurzelbohrer	Organische Auflage: Mischprobe aus L, Of und Oh	Mengenbilanzierung der organischen Auflage
	Murach'scher Wurzelbohrer, Edelstahlschaufel	Organische Auflage, Boden: Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-20 cm	Organische Schadstoffe
	Murach'scher Wurzelbohrer, Edelstahlschaufel Rammkernsondierung	Boden: Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90, 90-140, 140-200 cm	Bodenkundliche Standardanalytik, Schwermetalle
Kernfläche	Murach'scher Wurzelbohrer	Organische Auflage: Mischprobe aus L, Of und Oh Boden: Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-20 cm Vereinigung der Einzelproben aus den Reihen zu Flächenmischproben	Schwermetalle

2.1.1. Probennahme Schurf

Die Bodenschurfe wurden in unmittelbarer Nähe der Kernflächen angelegt (s. Abbildung 2), so dass der Aufbau des Bodens näher untersucht werden konnte. Dazu wurde die Schurfwand mit einer Kelle bzw. einem Glättspachtel glatt abgezogen und mit Wasser eingesprüht. Danach erfolgte eine photographische und bodenkundliche Dokumentation der Schurfwand.

Die Beprobung der Schurfwand erfolgte Horizont bezogen. Neben Bodenproben für die chemische Analytik wurden ungestörte Proben in Stechzylindern (Vol. 100 cm³) zur Bestimmung von Trockenrohdichte und Porenvolumina genommen. Bei steinigem Horizonten, aus denen keine Stechzylinder genommen werden konnten, wurden kleine Stechkappen aus Aluminium in die Schurfwand gedrückt, so dass die Trockenrohdichte des Feinbodens im Labor bestimmt werden konnte (s. Abbildung 3). Diese Daten bilden die Grundlage für die Beurteilung des Wasserhaushaltes und die Berechnung von Elementvorräten.



Abbildung 3: Größenvergleich Stechkappen/Stechzylinder

2.1.2. Probennahme Eckpunkte

Das ursprüngliche Probenkonzept sah vor, die Eckpunkte 1-4 mittels Rammkernsondierung zu beproben und aus jeweils 2 Eckpunkten Mischproben zu erzeugen. Erste Untersuchungen an den BDF Kandel/Schaidt, Merzalben und Johanniskreuz zeigten jedoch, dass die Horizontierung und Schichtung des Bodens an den Eckpunkten sehr variabel ausfallen kann, so dass unterschiedliche Horizonte und Substrate miteinander gemischt werden müssten. Es

wurden daher in Absprache mit dem Auftraggeber nur die Eckpunkte 1 und 3 beprobt und keine Mischproben erzeugt.

Die Gewinnung der Bodenproben erfolgte mittels Rammkernsondierung (s. Abbildung 4) und einem Murach'schen Wurzelbohrer. Der Mineralboden wurde nach Tiefenstufen (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90, 90-140, 140-200 cm) beprobt. Lag eine Horizont- bzw. Schichtgrenze innerhalb einer Tiefenstufe, wurde die Probe geteilt, so dass sich bei den Tiefenstufen nochmals Unterteilungen ergeben können. Um genügend Probematerial zu erhalten, wurden an den Eckpunkten jeweils 2-3 Bohrungen durchgeführt.

Die organische Auflage wurde mit einem Stechrahmen (20 x 20 cm) bzw. bei mächtigen Rohhumusauflagen mit einem Murach'schen Wurzelbohrer beprobt, so dass flächenrepräsentative Proben vorliegen. Genommen wurden Mischproben aus L-, Of- und Oh-Lagen.

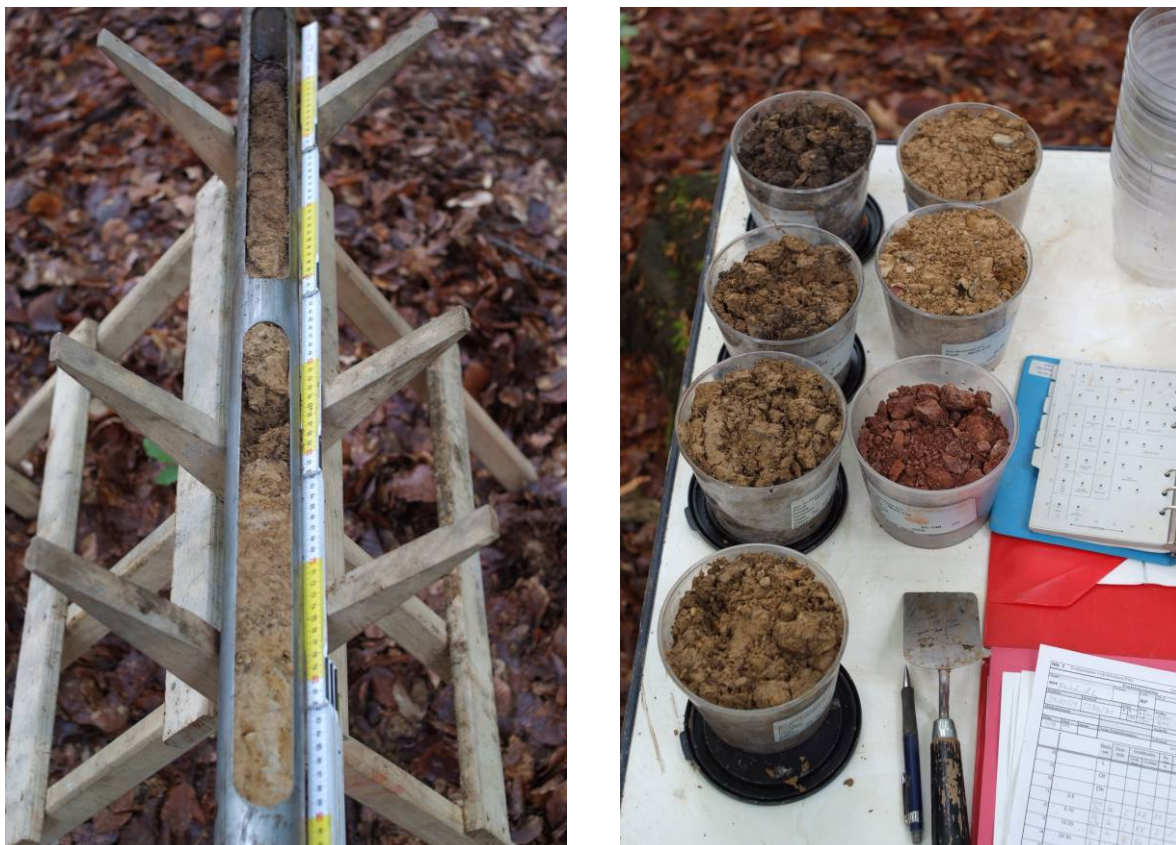


Abbildung 4: Rammkern und Probenbecher am Beispiel der BDF Neuhäusel 2

Für die Ermittlung unterschiedlicher Parameter (Humusmengen, anorganische und organische Bodenchemie) wurden von der organischen Auflage und dem mineralischen Oberboden jeweils drei Parallelproben entnommen.

Die Proben für die Bilanzierung der Humusmengen wurden mit einem Stechrahmen bzw. einem Murach'schen Wurzelbohrer genommen. Sie wurden im Gelände in Plastikbeutel bzw. Kunststoffprobenbecher verpackt.

Um Kontaminationen zu vermeiden wurden die Proben für die organische Analytik mit Edelstahlwerkzeugen genommen und in speziell gereinigte Einmachgläser gefüllt, die durch Glasdeckel mit Gummiringen und Einlagen aus Alufolie verschlossen wurden. Beprobte wurden die organische Auflage und die Tiefenstufen 0-5, 5-10 und 10-20 cm. Der Probentransport erfolgte in Kühltaschen. Im Labor wurden die Proben bei -18°C eingefroren und in tiefgekühlter Form dem Auftragslabor übergeben.

2.1.3. Probennahme Kernfläche

Die Probennahme auf der Kernfläche erfolgte durch einen Mitarbeiter der FAWF. An den Rasterpunkten wurde mit einem Murach'schen Wurzelbohrer die Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-30 und wenn möglich die Tiefenstufen 30-60 sowie 60-90 cm beprobt, so dass an jedem Punkt mindestens 3 Proben genommen wurden. Aus den Proben der Punkte 1-3 und 4-6 wurden Mischproben erzeugt (s. Abbildung 2), so dass für eine Kernfläche zwischen 24 und 40 Proben vorliegen (s. Tabelle 4).

Tabelle 3: Übersicht zu den Proben der Kernflächen

BDF-Nr.	Forstamt/BDF	Anzahl der Flächenproben
1	Kandel/Schaidt	24
2	Merzalben	40
3	Johanniskreuz	24
4	Waldmohr	24
5	Kirchheimbolanden	24
6	Idar-Oberstein	24
7	Morbach	24
8	Adenau	24
9	Hermeskeil 1	24
10	Hermeskeil 2	24
11	Schneifel 2	24
12	Schneifel 1	24
13	Neuhäusel 1	40
14	Neuhäusel 2	24
15	Hagenbach	40
16	Wallmerod	24

2.2. Labormethoden

Bodenchemische und -physikalische Parameter wurden im Labor des LGB untersucht. Dabei kamen die in Tabelle 4 aufgelisteten Methoden zum Einsatz.

Tabelle 4: Bodenchemische und bodenphysikalische Analytik

Parameter	Methodik
Bodenchemische Parameter	
Probeaufbereitung	DIN ISO 11464: Lufttrocknung, Trennung Grob- und Feinboden (2mm-Sieb), Feinmahlen eines Aliquotes des aufbereiteten, homogenisierten Feinbodens in Achat-Kugelmühle
pH-Wert (CaCl ₂)	DIN 10390
pH-Wert (H ₂ O)	DIN 10390
Carbonate	volumetrische Bestimmung nach Scheibler, DIN ISO 10693
Gesamtkohlenstoff (Ct/TC)	DIN ISO 10694
organischer Kohlenstoff (TOC)	berechnet nach DIN ISO 10694
Gesamtstickstoff	DIN ISO 13878
effektive Austauschkapazität in carbonatfreien Böden	BZE-Verfahren (vgl. GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK 2005)
potentielle Austauschkapazität	Laborverfahren des LGB in Anlehnung an DIN ISO 13536
Königswasserextraktion, Bestimmung der Elemente Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Zn	DIN ISO 11466
NH ₄ NO ₃ -Extraktion, Bestimmung der Elemente Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Zn	DIN 19730
Radionuklide	Gammaspektrometer
Bodenphysikalische Parameter	
Korngrößenverteilung	DIN ISO 11277 (2002)
Dichte der festen Bodensubstanz (Fein- und Grobboden)	Heliumpyknometer
Porengrößenverteilung	DIN ISO 11274: Die Porenverteilungen gelten für den Feinboden (Fraktion < 2mm). Das Volumen der Grobbodenfraktion wurde über Wägung und Dichtemessung bestimmt und mit einem Korrekturfaktor in Abzug gebracht.

Für die Elementanalytik gelten die in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellten Nachweisgrenzen (NWG). Die Bestimmung organischer Schadstoffe erfolgte durch ein Fremdlabor nach den in Tabelle 7 aufgelisteten Methoden. Die Nachweisgrenzen der Einzelparameter können Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 5: Nachweisgrenzen Königswasserextraktion (mittlere NWG, bezogen auf Standardeinwaage und Extraktionsvolumen (3g/100ml))

Königswasserextraktion	Messverfahren	NWG	
Aluminium	DIN EN ISO 17294-2	6	mg/kg
Arsen	DIN EN ISO 17294-2	0,3	mg/kg
Blei	DIN EN ISO 17294-2	0,4	mg/kg
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2	0,06	mg/kg
Calcium	DIN EN ISO 17294-2	10	mg/kg
Chrom	DIN EN ISO 17294-2	0,2	mg/kg
Eisen	DIN EN ISO 17294-2	3	mg/kg
Kalium	DIN EN ISO 17294-2	50	mg/kg
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2	0,2	mg/kg
Magnesium	DIN EN ISO 17294-2	1	mg/kg
Mangan	DIN EN ISO 17294-2	0,2	mg/kg
Natrium	DIN EN ISO 17294-2	2,8	mg/kg
Nickel	DIN EN ISO 17294-2	0,5	mg/kg
Phosphor	DIN EN ISO 11885	20	mg/kg
Quecksilber	DIN EN 1483	0,006	mg/kg
Zink	DIN EN ISO 17294-2	1,2	mg/kg

Tabelle 6: Nachweisgrenzen NH₄NO₃-Extraktion (mittlere NWG, bezogen auf Standardeinwaage und Extraktionsvolumen (20g/50ml))

Messverfahren	Messverfahren	NWG	
Aluminium	DIN EN ISO 17294-2	0,5	mg/kg
Arsen	DIN EN ISO 17294-2	0,02	mg/kg
Blei	DIN EN ISO 17294-2	0,03	mg/kg
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2	0,004	mg/kg
Calcium	DIN EN ISO 17294-2	1,0	mg/kg
Chrom	DIN EN ISO 17294-2	0,015	mg/kg
Eisen	DIN EN ISO 17294-2	0,1	mg/kg
Kalium	DIN EN ISO 17294-2	4,0	mg/kg
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2	0,01	mg/kg
Magnesium	DIN EN ISO 17294-2	0,07	mg/kg
Mangan	DIN EN ISO 17294-2	0,01	mg/kg
Natrium	DIN EN ISO 17294-2	0,21	mg/kg
Nickel	DIN EN ISO 17294-2	0,03	mg/kg
Quecksilber	DIN EN 1483	0,0001	mg/kg
Zink	DIN EN ISO 17294-2	0,08	mg/kg

Tabelle 7: Bestimmung organischer Schadstoffe

Parameter	Methodik
Organochlorpestizide	DIN ISO 10382 (2003), DIN 38414 S20 (1996)
PCB	DIN ISO 10382 (2003), DIN 38414 S20 (1996)
PCP	DIN ISO 14154 (2005)
PAK	DIN ISO 18287 (GC-MS-Verfahren)(2006)
PCDD/F	Klärschlammverordnung unter Beachtung von DIN 38414-24 (2000)

Tabelle 8: Nachweisgrenzen für organische Schadstoffe

PAK		
Naphthalin	0,005	mg/kg
Acenaphthylen	0,005	mg/kg
Acenaphthen	0,005	mg/kg
Fluoren	0,005	mg/kg
Phenanthren	0,005	mg/kg
Anthracen	0,005	mg/kg
Fluoranthen	0,005	mg/kg
Pyren	0,005	mg/kg
Benzo(a)anthracen	0,005	mg/kg
Chrysen	0,005	mg/kg
Benzo(b)fluoranthen	0,005	mg/kg
Benzo(k)fluoranthen	0,005	mg/kg
Benzo(a)pyren	0,005	mg/kg
Dibenz(ah)anthracen	0,005	mg/kg
Benzo(ghi)perylen	0,005	mg/kg
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,005	mg/kg
Schwerflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe		
Aldrin	0,02	mg/kg
p,p'-DDD	0,02	mg/kg
o,p'-DDE	0,02	mg/kg
p,p'-DDE	0,02	mg/kg
o,p'-DDT	0,2	mg/kg
p,p'-DDT	0,2	mg/kg
Dieldrin	0,02	mg/kg
Endrin	0,02	mg/kg
Heptachlor	0,04	mg/kg
Heptachlorepoxyd	0,02	mg/kg
Hexachlorbenzol	0,02	mg/kg
α-HCH	0,02	mg/kg
β-HCH	0,02	mg/kg
γ-HCH (Lindan)	0,02	mg/kg
δ-HCH	0,02	mg/kg
ε-HCH	0,02	mg/kg
Methoxychlor	0,2	mg/kg

Pentachlorbenzol	0,02	mg/kg
o,p'-DDD	0,02	mg/kg
Chlorphenole		
Pentachlorphenol	0,1	mg/kg
Polychlorierte Biphenyle (PCB)		
PCB Nr. 28	0,01	mg/kg
PCB Nr. 52	0,01	mg/kg
PCB Nr. 101	0,01	mg/kg
PCB Nr. 138	0,01	mg/kg
PCB Nr. 153	0,01	mg/kg
PCB Nr. 180	0,01	mg/kg
Polychlorierte Dibenzodioxine		
2,3,7,8-TCDD	0,1	ng/kg
1,2,3,7,8-PeCDD	0,15	ng/kg
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,3	ng/kg
1,2,3,6,7,8 HxCDD	0,3	ng/kg
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,3	ng/kg
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,5	ng/kg
OctaCDD	1,0	ng/kg
Polychlorierte Dibenzofurane		
2,3,7,8-TCDF	0,2	ng/kg
1,2,3,7,8-PeCDF	0,15	ng/kg
2,3,4,7,8-PeCDF	0,15	ng/kg
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,3	ng/kg
1,2,3,6,7,8 HxCDF	0,3	ng/kg
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,3	ng/kg
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,3	ng/kg
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,5	ng/kg
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,5	ng/kg
OctaCDF	1,0	ng/kg

Der Umfang der bodenanalytischen Analytik kann Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Umfang der bodenchemischen und -physikalischen Analysen

Bodenchemie	Anzahl der Proben
pH-Wert (CaCl ₂)	383
pH-Wert (H ₂ O)	383
CaCO ₃	28
Gesamtkohlenstoff (Ct/TC)	375
organischer Kohlenstoff (TOC)	375
Gesamtstickstoff	373
effektive Austauschkapazität	383
potentielle Austauschkapazität	383
Bestimmung der Elemente Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Zn im Königswasserauszug	383 (Schurfe und Eckpunkte) 432 (Kernfläche)
Bestimmung der Elemente Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Zn mit NH ₄ NO ₃ -Extraktion	383
Radionukleide	213
Organika	128
Bodenphysik	
Korngrößenverteilung	346
Porengrößenverteilung	75
Trockenrohdichte (Stechkappen)	71

2.3. Berechnung von Elementmengen

Die Ergebnisse der Analytik liegen in Form von Stoffkonzentrationen für die Fraktion < 2 mm vor, die auf Basis der Trockenrohdichten des Feinbodens in Mengeneinheiten pro Fläche umgerechnet wurden. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass bei Volumenberechnungen die Anteile des Grobbodens (Fraktion > 2mm) abgezogen werden müssen. Folgende Formeln wurden verwendet:

- Feinbodenvolumen pro Horizont (Vol_{FB}) [m^3] = Horizontmächtigkeit x Fläche – Volumen Skelett (Fraktion > 2mm)
- Vol_{FB} [m^3] x TRD [kg/m^3] = Feinbodenmenge pro Flächeneinheit (Menge_{FB}) [kg/ha]
- Menge_{FB} [kg/ha] x Stoffkonzentration [mg/kg] / 1.000.000 = Stoffmenge / Fläche [kg/ha]

Für die Skelettvolumina wurden die Geländeschätzwerte aus den bodenkundlichen Aufnahmen der Schurfe übernommen. Die dort ermittelten Werte wurden per Analogieschluss auf die entsprechenden Horizonte der Eckpunkte der BDF übertragen, so dass auch für die Rammkernsondierungen entsprechende Daten vorliegen.

Die Geländeschätzwerte der Skelettvolumina liegen gemäß der bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) als klassifizierte Daten vor. Für die Berechnungen der Elementmengen wurden daher die in Tabelle 10 dargestellten Klassenmittelpunkte übernommen.

Tabelle 10: Anteilsklassen des Grobbodengehalte und Klassenmittelpunkte für die Berechnung der Feinbodenvorräte

Stufe	Bezeichnung		Skelettgehalte in Volumen-%	Klassenmittelpunkt in Volumen-%
1	sehr schwach	steinig, kiesig, grusig	<2	1
2	schwach	steinig, kiesig, grusig	2 bis < 10	6
3	mittel	steinig, kiesig, grusig	10 bis < 25	17,5
4	stark	steinig, kiesig, grusig	25 bis < 50	37,5
5	sehr stark	steinig, kiesig, grusig	50 bis < 75	62,5
6	extrem stark	steinig, kiesig, grusig	>= 75	87,5

Die organischen Auflagen liegen als flächenrepräsentative Proben vor (vgl. Kap. 2.1.2), so dass eine Umrechnung auf Hektar bezogene Angaben möglich ist.

Da die Größenordnungen der Elementmengen sehr unterschiedlich ausfallen, erfolgen die Mengenangaben in kg/ha oder t/ha .

Bei den austauschbaren Kationen wurden die folgenden Formeln zur Umrechnung der Molekularmassen in mg/kg verwendet:

– Calcium (mmol/z/100g)	x	200,4	=	Calcium (mg/kg)
– Magnesium (mmol/z/100g)	x	121,6	=	Magnesium (mg/kg)
– Kalium (mmol/z/100g)	x	391,0	=	Kalium (mg/kg)
– Natrium (mmol/z/100g)	x	229,9	=	Natrium (mg/kg)
– Aluminium (mmol/z/100g)	x	89,9	=	Aluminium (mg/kg)
– Eisen (mmol/z/100g)	x	186,2	=	Eisen (mg/kg)
– Mangan (mmol/z/100g)	x	274,7	=	Mangan (mg/kg)
– Wasserstoff (mmol/z/100g)	x	10,1	=	Wasserstoff (mg/kg)

2.4. Datenmanagement

Die Ergebnisse der Bodenprofilaufnahmen und der bodenkundlichen Analytik wurden in das Fachinformationssystem Boden des LGB überführt. Damit ist eine kontinuierliche Datenerhaltung und -pflege gewährleistet. Die Überführung der Daten zum Umweltbundesamt (UBA) erfolgt über eine dort vorliegende Schnittstelle.

3. ERGEBNISSE DER BEPROBUNG DER SCHURFE UND ECKPUNKTE

Die Ergebnisse sind sowohl in der bodenkundlichen Datenbank des LGB (BOFA), als auch in Anhang 1 dokumentiert. Anhang 1 beinhaltet eine Beschreibung der Bodenformen der einzelnen BDF, Graphiken zu den Tiefenverteilungen der bodenchemischen und -physikalischen Parameter und Angaben zu Elementmengen. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über alle Standorte gegeben. Es werden dabei einige bodenchemische und -physikalische Aspekte sowie Elementkonzentrationen und -vorräte näher beleuchtet.

3.1. Bodenchemische Standardparameter

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht zu den Tiefenverteilungen bodenchemischer Standardparameter für alle 16 BDF. Deutlich zeigt sich die zentrale Rolle der organischen Auflage und des Oberbodens für die Speicherung von Kohlenstoff und Stickstoff. Parallel zum Anstieg der organischen Substanz steigen die Werte der Austauschkapazitäten. Ein differenziertes Bild ergibt sich bei der Verteilung der sauren (H-Wert) und basischen Kationen (S-Wert) am Austauscher. Hier liegt eine starke Anreicherung saurer Kationen in den Oberböden vor. Die basischen Kationen zeigen dagegen ein zweites Maximum in den Tiefenbereichen zwischen 90 und 140 cm. Die pH-Werte liegen bei den meisten BDF auf einem äußerst geringen Niveau. Zu beachten ist hierbei, dass alle BDF von Kalkungsmaßnahmen ausgenommen sind, was zu teilweise sehr niedrigen Werten im pH-Bereich 3,0 bis 3,5 führt.

3.2. Spurenelemente

Die Tiefenverteilungen für Schwermetalle und Cäsium (s. Abbildung 6 a und b) zeigen ein differenziertes Bild. Nahezu geogene Verteilungsmuster haben die Schwermetalle, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink, die über die gesamte Profiltiefe diffus verteilt sind.

Blei, Quecksilber und Cäsium sind dagegen in den Oberböden und organischen Auflagen angereichert als deutlicher Hinweis darauf, dass diese Elemente über den Luftpfad eingetragen wurden

Das Schwermetall Cadmium nimmt eine Übergangsstellung zwischen den beschriebenen Elementgruppen ein. Hier liegen einerseits Anreicherungen in den Oberböden vor. Anderer-

seits können aber auch in den Unterboden erhöhte Cadmiumkonzentrationen als Hinweis für geogene Anreicherungen auftreten.

Während die Konzentrationen der meisten Schwermetalle auf recht niedrigem Niveau liegen, erreichen die Bleiwerte im Oberboden und den organischen Auflagen Größenordnungen von 200 bis über 300 mg/kg. Offenbar ist aber Blei fest an die organische Substanz gebunden, da mit zunehmender Tiefe ein deutliche Abnahme der Konzentrationen erfolgt.

Eine besondere Rolle spielt das durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl eingetragene radioaktive Isotop Cäsium 137. Hier zeigt sich eine deutliche Anreicherung in den organischen Auflagen und in den humosen Oberböden. In tieferen Horizonten ist Cäsium 137 nicht mehr nachweisbar. Ursache hierfür ist offenbar die starke Bindung an die organische Substanz des Oberbodens. Die Spitzenwerte für Cäsium 137 liegen bei 400 bis 500 Bq/kg. Ähnliche Größenordnungen werden in Wäldern Niedersachsens erreicht (FORTMANN & MEESENBURG 2009).

3.3. Organika

Organische Schadstoffe wurden in den organischen Auflagen und in den Oberböden bis in eine Tiefe von 20 cm gemessen (s. Abbildung 7). Das Verteilungsmuster zeigt ähnlich wie Blei und Cäsium deutliche Anreicherungen in den organischen Auflagen und Ah-Horizonten. In den Tiefenstufen 5-10 cm und 10-20 cm können in den meisten Fällen keine Belastungen mehr nachgewiesen werden.

PAK sind in 76 Proben und PCB in 12 von 129 Proben nachweisbar. Pentachlorphenol und schwerflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe liegen bei allen Proben unter der Nachweisgrenze. Dioxine und Furane sind, wenn auch in sehr geringen Mengen, in nahezu allen Proben nachweisbar, als deutlicher Hinweis auf ihre ubiquitäre Verbreitung.

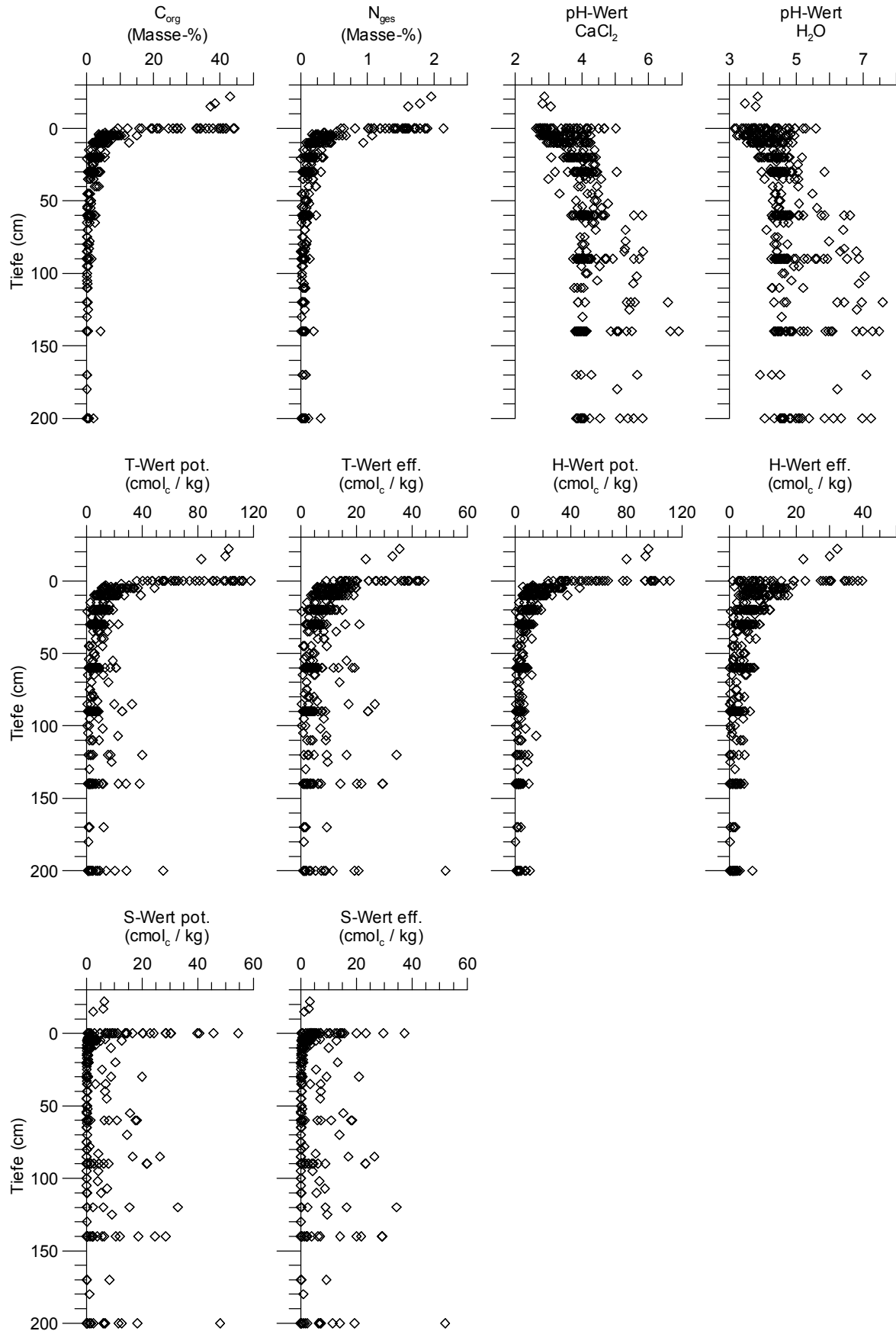


Abbildung 5: Überblick zur Tiefenverteilung bodenchemischer Standardparameter (Tiefenangaben beziehen sich auf die Unterkante des beprobten Horizontes, Werte ≤ 0 bei den Tiefenangaben beziehen sich auf die organische Auflage, da die Beprobungstiefen ab Oberkante Mineralboden angegeben werden)

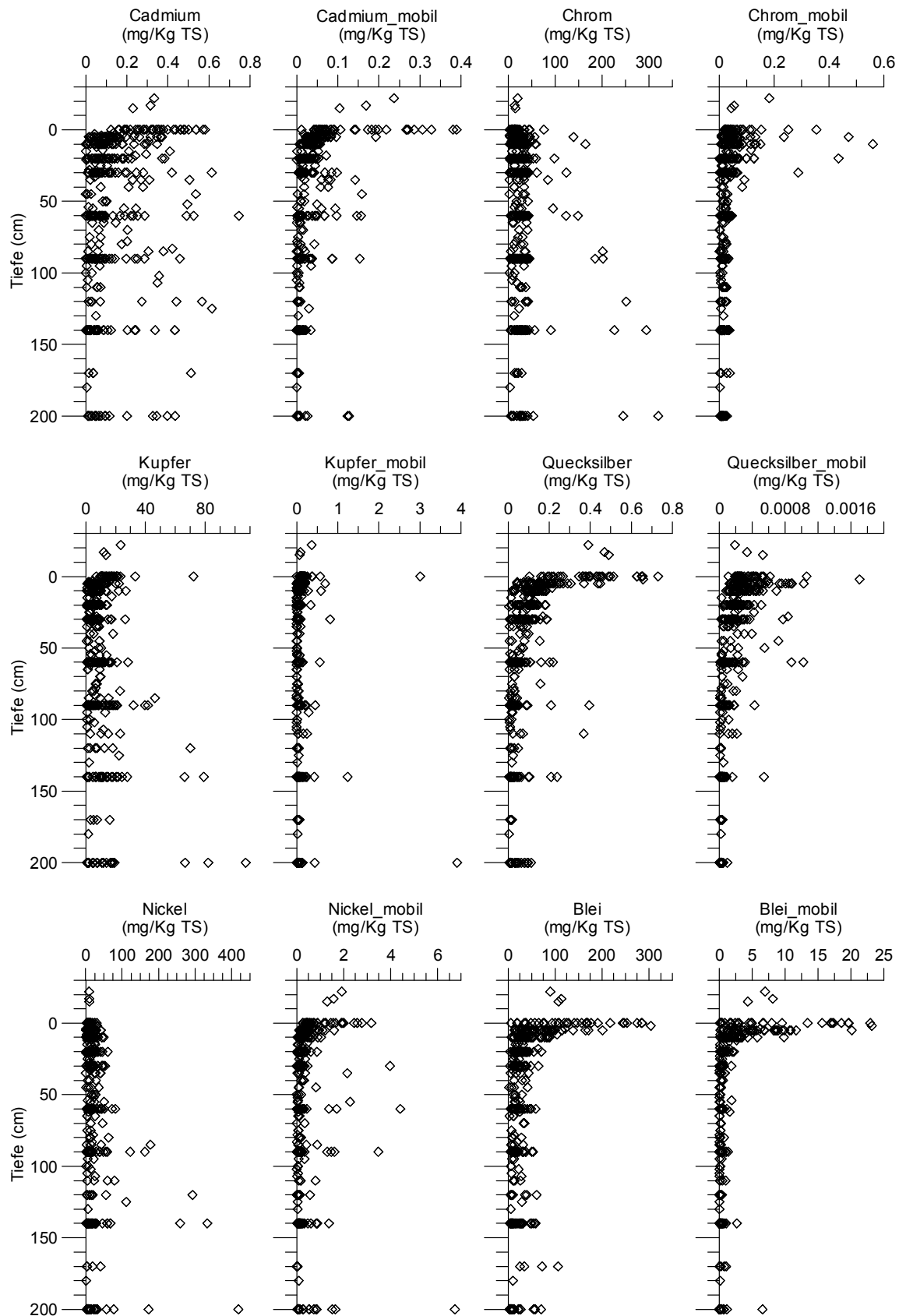


Abbildung 6a: Tiefenverteilung von Spurenelementen (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb)

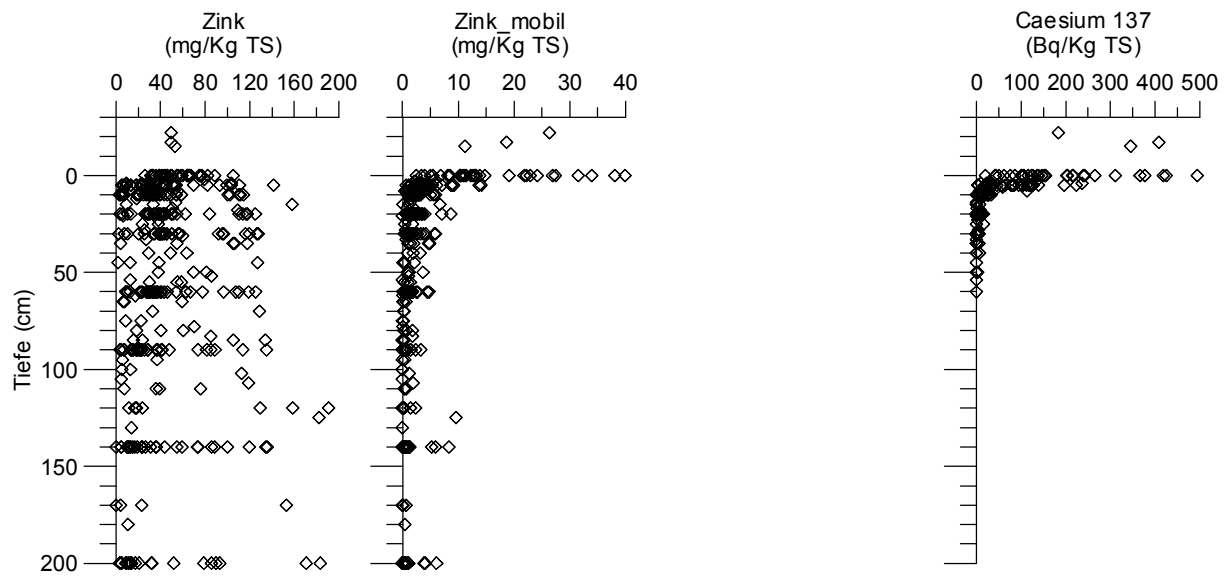


Abbildung 6b: Tiefenverteilung von Spurenelementen (Zn, Cs)

(Tiefenangaben beziehen sich auf die Unterkante des beprobten Horizontes, Werte ≤ 0 bei den Tiefenangaben beziehen sich auf die organische Auflage, da die Beprobungstiefen ab Oberkante Mineralboden angegeben werden)

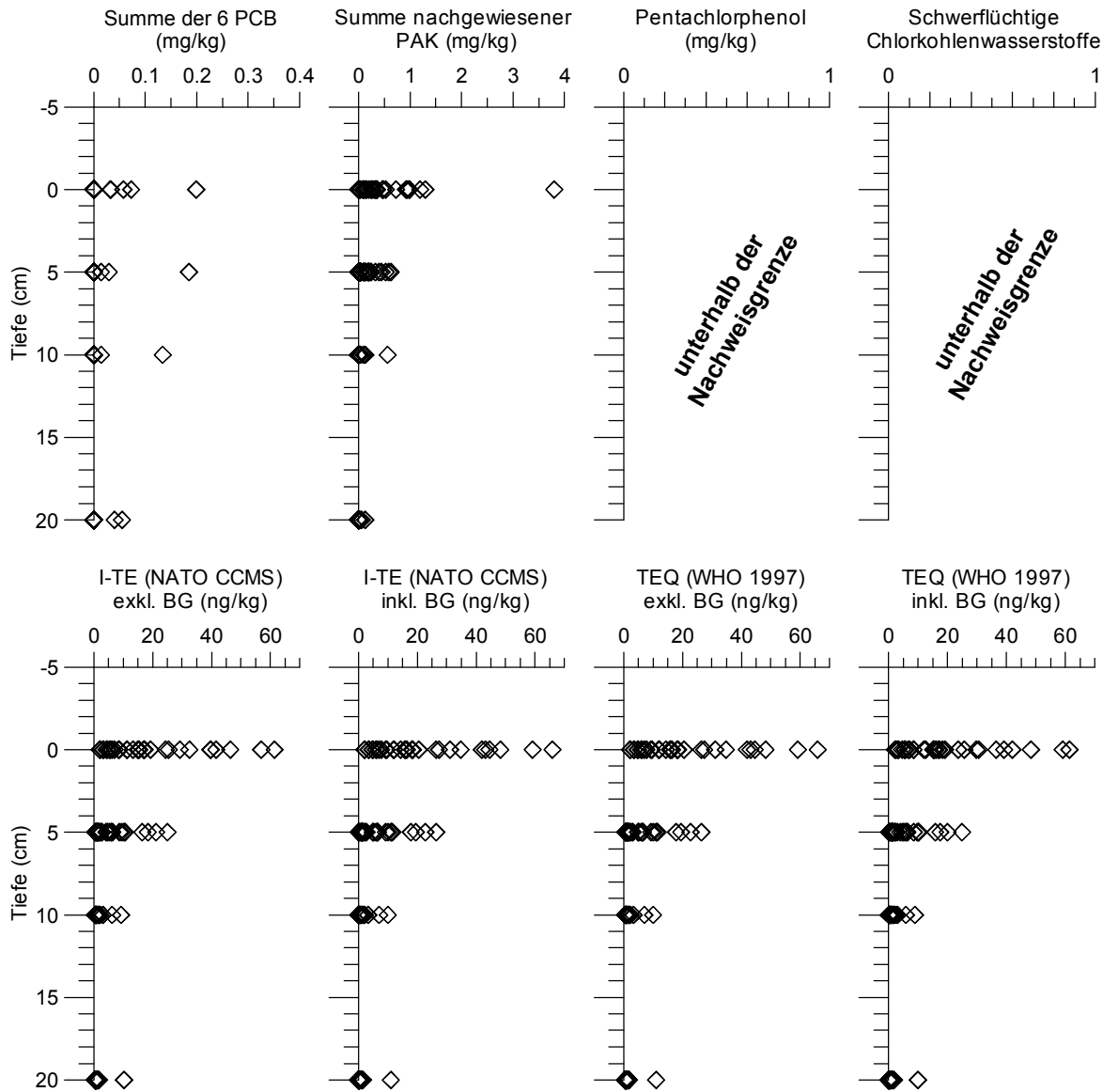


Abbildung 7: Tiefenverteilung organischer Schadstoffe (PCB, PAK, Pentachlorphenol, schwerflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe, Dioxine und Furane)
 (Tiefenangaben beziehen sich auf die Unterkante des beprobten Horizontes, Werte = 0 bei den Tiefenangaben beziehen sich auf die organische Auflage, da diese nicht zum Mineralboden gerechnet wird)

3.4. Porenvolumina, Trockenrohdichten

Bodenphysikalische Untersuchungen erfolgten mit dem Ziel der Bestimmung von Trockenrohdichten sowie der Quantifizierung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers.

Die Trockenrohdichten sind die Grundlage für die Berechnung von Nährstoff- und Elementvorräten (s. Kap. 5.2). Die Porenvolumina liefern die entsprechenden Hintergrundwerte für den Wasserhaushalt der Standorte. Von Interesse für die Standortbeurteilung sind insbesondere die nutzbaren Feldkapazitäten (nFK). Diese entsprechen gemäß bodenkundlicher Kartieranleitung dem in den engen Grob- und Mittelporen gespeicherten Bodenwasser (pF 1,8-4,2).

In Tabelle 11 sind die in BOFA abgeleiteten nFK den Ergebnissen der bodenphysikalischen Analytik gegenübergestellt. Die nFK wurden für das gesamte Bodenprofil (nFK_{ges}), den Bereich bis 1 Meter Tiefe (nFK_{1m}) sowie für den durchwurzelbaren Bodenraum (nFK_{db}) berechnet.

Die Profiltiefe variiert je nach Beprobungsmethodik (Schurf oder Rammkern) zwischen 0,8 und maximal 2,0 Metern. Somit gibt die nFK_{ges} ein Maß für die maximale im Bodenprofil verfügbare Wassermenge an.

Die bodenkundliche Datenbank des LGB (BOFA) berücksichtigt für die Berechnung der nFK einen Schätzrahmen mit modifizierten Werten nach AD-HOC-AG BODEN (1994). Die Berechnung erfolgt auf der Basis dieses Schätzrahmens unter weiterer Berücksichtigung der Skelett- und Humusgehalte.

Grundsätzlich zeigen die BDF ein heterogenes Bild mit sehr unterschiedlichen nutzbaren Feldkapazitäten (nFK). Dies wird v.a. bei den Standorten des Pfälzer Waldes in Merzalben und Johanniskreuz deutlich. Hier haben die stark sandigen, tiefgründig verwitterten Lehme der Station Merzalben mit über 200 mm nFK wesentliche höhere Werte als die flachgründigen stark steinigen Sande der benachbarten BDF Johanniskreuz.

Darüber hinaus werden aber auch Unterschiede zwischen den Laboranalysen und den in BOFA berechneten Daten sichtbar. Hierbei ergibt sich ebenfalls ein eher uneinheitliches Bild. Bei den nFK_{db} zeigen beide Methoden in den meisten Fällen ähnliche Größenordnungen, wobei die Laboranalytik tendenziell etwas höhere Werte als die Berechnung in BOFA liefert.

Die Werte der BDF Neuhäusel 1 bzw. Hermeskeil 2 zeigen jedoch größere Abweichungen, wobei die Laboranalytik deutlich höhere Werte als die Berechnung zeigt. Dabei handelt es sich um Bimslapilli (Neuhäusel 1) bzw. um sehr locker gelagerte Substrate mit einem hohen Anteil an Vulkanasche (Hermeskeil 2). Offenbar können diese Substrate durch die in BOFA hinterlegten Tabellenwerte nicht korrekt abgebildet werden.

Bei der BDF Hermeskeil 1 wurden auf Grund der hohen Mächtigkeit der organischen Auflage (s. Kap. 5.1) zusätzliche Stechzylinder entnommen. Die Ergebnisse zeigen, dass allein in der 28 cm mächtigen Auflage 70 mm nFK vorliegen und sich somit die nFK-Werte für den durchwurzelbaren Bodenraum nahezu verdoppeln. Dies verdeutlicht, dass an diesem Standort der Wasserhaushalt und damit verbunden auch die Nährstoffsituation in erster Linie durch die organische Auflage gesteuert werden.

Tabelle 11: Berechnete und gemessene Werte der nutzbaren Feldkapazitäten

Nr. BDF	BDF	Profilbez.	Gesamte Profiltiefe (dm)	dB (dm)	Berechnung nach BOFA			Berechnung nach Porenraumanalytik		
					nFK _{ges} (mm)	nFK ₁₀₀ (mm)	nFK _{db} (mm)	nFK _{ges} (mm)	nFK ₁₀₀ (mm)	nFK _{db} (mm)
1	Kandel/ Schaidt	SAI 001	10,0	5,5	96	96	64	124	124	88
2	Merzalben	MER 008	13,0	13,0	234	197	234	242	195	242
3	Johanniskreuz	ELM 015	10,5	5,0	86	85	43	140	134	59
4	Waldmohr	NKI 001	12,0	8,0	83	76	67	89	78	72
5	Kirchheimbolanden	DAF 033	11,0	6,0	101	101	88	-	-	-
6	Idar-Oberstein	IDO 016	12,0	6,0	142	129	103	-	-	89 ₁₎
7	Morbach	MOB 014	17,0	8,0	214	161	146	-	-	-
8	Adenau	KEM 011	11,0	7,0	119	115	97	-	-	-
9	Hermeskeil 1	BIW 043	8,0	3,0	119	139	60	-	-	78 (148) ²⁾
10	Hermeskeil 2	BIW 046	12,0	6,5	196	173	132	239	220	184
11	Schneifel 2	HAL 001	12,0	7,0	150	150	124	-	-	125
12	Schneifel 1	PRM 039	11,0	6,0	157	148	113	-	-	-
13	Neuhäusel 1	MON 009	14,0	8,0	308	231	194	430	335	265
14	Neuhäusel 2	MON 012	11,0	6,0	232	222	151	196	196	145
15	Hagenbach	SAI 005	9,0	5,5	233	197	111	259	213	123
16	Wallmerod	REN 008	12,0	6,0	163	177	121	199	-	153

dB = durchwurzelbarer Bodenraum
nFK_{ges.} = nutzbare Feldkapazität gesamtes Profil
nFK₁₀₀ = nutzbare Feldkapazität 100 cm
nFK_{db} = nutzbare Feldkapazität durchwurzelbarer Bodenraum

¹⁾ Messwert für 5,5 dm

²⁾ Zahl in () = nFK Mineralboden plus organische Auflage

3.5. Vergleich der Trockenrohdichten von Stechzylindern und Stechkappen

Parallel zu den Stechzylindern wurden aus 52 Horizonten Proben mit Aluminiumstechkappen genommen. Stechkappen kommen i.d.R. in stark steinigem Horizonten zum Einsatz, wenn mit Stechzylindern keine ungestörten Proben genommen werden können. Die Parallelbeprobung verfolgte das Ziel, beide Methoden miteinander vergleichen zu können (s. Abbildung 8). Tendenziell liefern Stechkappen geringfügig höhere Trockenrohdichten als die Stechzylinder. Die geringe Streuung der Werte um die Regressionsgerade verdeutlicht, dass beide Verfahren ähnliche Werte liefern. Dies bedeutet, dass die mit den Stechkappen ermittelten Trockenrohdichten für die Berechnung von Elementvorräten genutzt werden können.

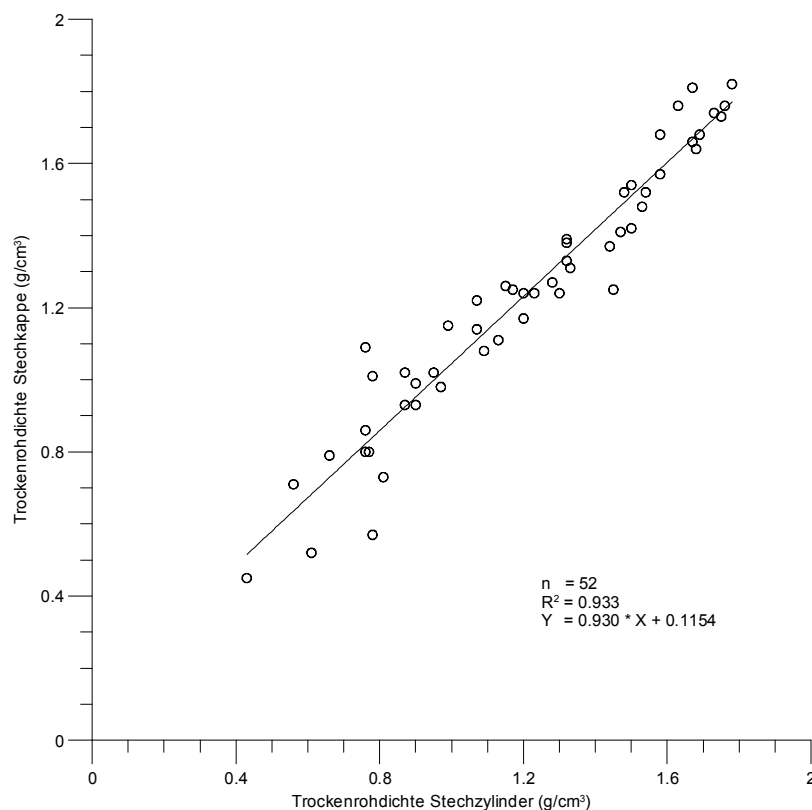


Abbildung 8: Streudiagramm, Trockenrohdichten Stechzylinder und Stechkappen

4. ERGEBNISSE DER FLÄCHENBEPROBUNG

Die Flächenbeprobungen erfolgten nach dem in Kap. 2.1.1 dargestellten Verfahren in den Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-30 cm. Bei entsprechend tiefgründigen Verhältnissen wurden zusätzlich die Tiefenstufen 30-60 sowie 60-90 cm beprobt. An den Flächenproben wurden ausschließlich die königswasserlöslichen Anteile von Schermetallen gemessen. Einen Überblick zu den Ergebnissen bietet Abbildung 9. Die Tiefenverteilungen zeigen, ähnlich wie bei den Beprobungen der Schurfe und Eckpunkte, elementspezifische Verteilungsmuster. Hervorzuheben ist insbesondere das über den Luftpfad eingetragene Schwermetall Blei, das in den Oberböden Konzentrationen von über 200 mg/kg erreicht.

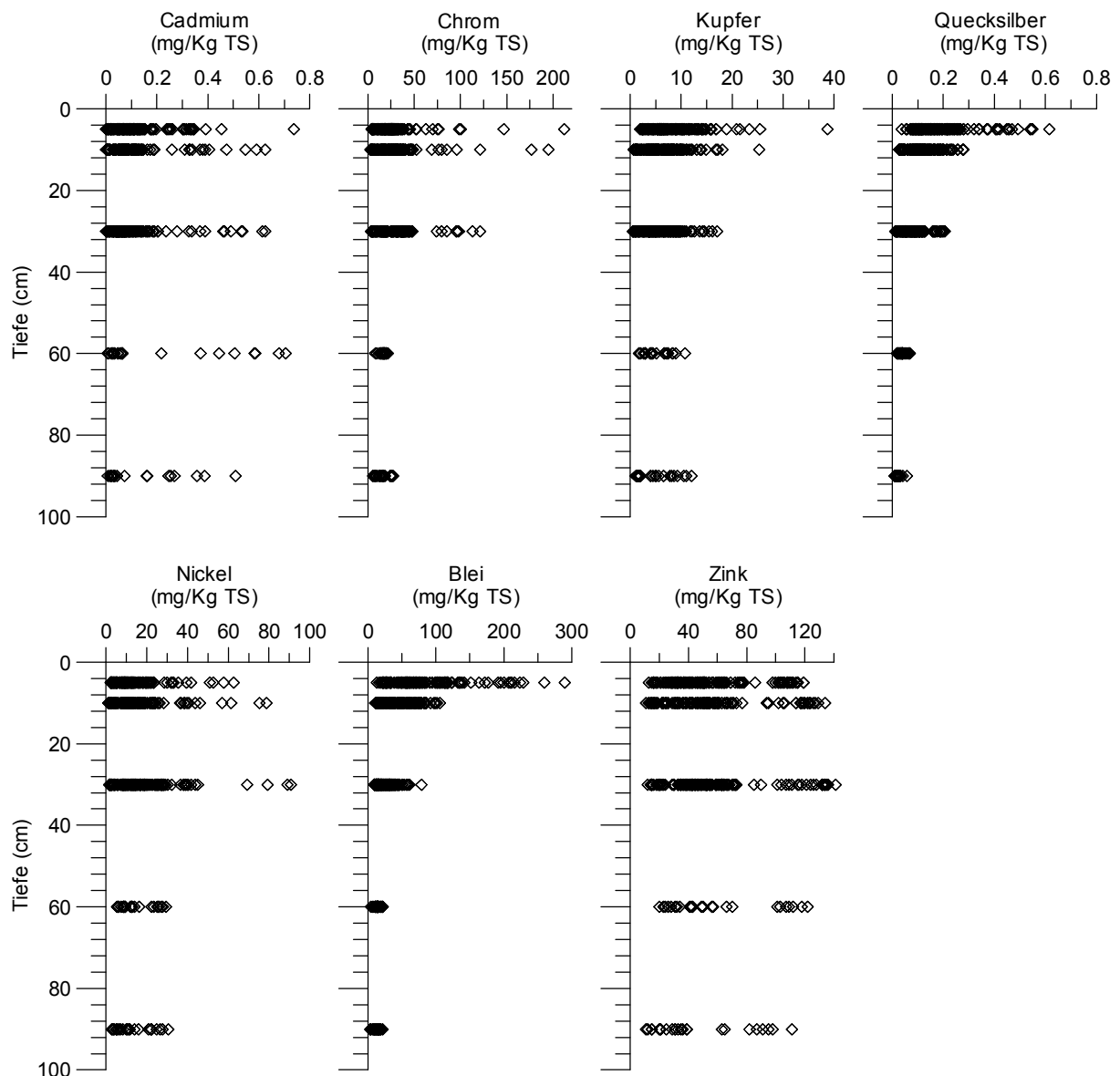


Abbildung 9: Tiefenverteilung von Schwermetallen auf den Kernflächen der BDF

5. HUMUS- UND ELEMENTVORRÄTE

5.1. Organische Auflagen

Mengenbestimmungen der organischen Auflage liegen für jeweils 2 Eckpunkte der BDF vor. Über die Kenntnis der beprobten Flächengrößen wurden die gewonnenen Probenmengen auf Hektar bezogene Werte berechnet (s. Tabelle 12).

Die Humusvorräte in den organischen Auflagen liegen zwischen 11 und 740 t/ha. Der außerordentliche hohe Wert von mehr als 700 t der BDF Hermeskeil 1 ist auf die dortigen besonderen bodenkundlichen Bedingungen zurückzuführen. Die Bodengesellschaft der BDF besteht aus Podsol-Braunerden und Braunerde-Podsolen mit Übergängen bis zu Podsol-Pseudogleyen. Die Mächtigkeiten der organischen Auflagen erreichen bei dieser BDF Größenordnungen von 20 bis 28 cm. Dabei handelt es sich um einen homogen aufgebauten schwarz gefärbten Humuskörper, der auf Grund des Bestandsalters nicht ausschließlich durch den Nadelfall entstanden sein kann. Wahrscheinlich handelt es sich eher um umgelagerte organische Substanz eines ehemaligen Moores.

5.2. Elementvorräte in organischen Auflagen und Mineralboden

Über die Kenntnis von Trockenrohdichte und Gehalt an Grobboden (Fraktion > 2mm) können die in Kap. 3 dargestellten Elementkonzentrationen in Vorräte umgerechnet werden. Tabelle 12 und Tabelle 13 geben hierzu einen Überblick.

Die in den organischen Auflagen gespeicherten Kohlenstoffmengen (s. Tabelle 12) liegen zwischen 4 und 144 t/ha und im Mittel bei 40 t/ha. Hier zeigen sich deutliche an die Humusform gekoppelte Differenzierungen. Die Rolle des Bodens als Kohlenstoffspeicher wird in Tabelle 13 deutlich. Die mittleren im durchwurzelbaren Bodenraum gespeicherten Kohlenstoffmengen erreichen Größenordnungen von ca. 105 t/ha. Bei Betrachtung der gesamten Profiltiefen bis max. 2 Meter Tiefe ergeben sich mittlere Werte um 115 t/ha.

Bei den austauschbaren Nährelementen ergibt sich ein heterogenes Bild. Hier zeigen sich Differenzierungen entsprechend der Ausgangsgesteine der Bodenbildung und dem Anteil an Löss und vulkanischen Aschen in den Deckschichten.

Tabelle 12: Vorräte an organischer Substanz, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und austauschbaren Elementen in den organischen Auflagen

		organische Auflage (t/ha)	Kohlenstoff (t/ha)	Stickstoff (t/ha)	Phosphor (kg/ha)	austauschbares Calcium (kg/ha)	austauschbares Magnesium (kg/ha)	austauschbares Natrium (kg/ha)	austauschbares Kalium (kg/ha)
BDF Nr.	BDF	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
1	Kandel/Schaidt	120,3	50,6	2,1	73	71	12	1,9	24
2	Merzalben	11,4	4,2	0,2	8	21	3	0,2	4
3	Johanniskreuz	217,6	82,7	3,1	94	207	19	4,2	39
4	Waldmohr	13,5	3,2	0,2	10	30	3	0,2	5
5	Kirchheimbolanden	29,8	5,9	0,3	25	37	3	0,3	5
6	Idar-Oberstein	156,4	64,1	2,7	109	79	9	2,9	18
7	Morbach	112,2	37,7	1,6	73	298	114	2,4	11
8	Adenau	131,5	55,0	2,2	89	94	13	2,2	15
9	Hermeskeil 1	747,5	144,2	7,1	554	67	18	7,4	57
10	Hermeskeil 2	143,3	36,0	1,6	95	21	5	1,4	11
11	Schneifel 2	44,7	17,5	0,9	44	91	10	0,7	18
12	Schneifel 1	105,7	32,5	1,4	64	43	6	1,8	13
13	Neuhäusel 1	136,9	29,0	1,7	137	145	11	1,5	28
14	Neuhäusel 2	57,7	13,1	0,7	49	52	5	0,6	12
15	Hagenbach	42,7	15,8	0,8	32	119	16	0,8	19
16	Wallmerod	155,9	49,1	2,4	151	131	13	2,2	18

Tabelle 13: Elementvorräte des Mineralbodens

BDF Nr.	BDF		Kohlenstoff	Stickstoff	Phosphor	austauschbares Calcium	austauschbares Magnesium	austauschbares Natrium	austauschbares Kalium
			(t/ha)	(t/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
			Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
1	Kandel/Schaidt (fluviatiler Sand, Pleistozän)	db	62,8	3,9	732	39	16	106	203
		gesamt	75,7	9,6	1183	1632	475	186	598
2	Merzalben (Sandstein, Buntsandstein)	db	96,5	6,6	2343	140	55	42	395
		gesamt	97,3	6,6	2761	163	67	59	460
3	Johanniskreuz (Sandstein, Buntsandstein)	db	102,0	3,7	371	161	31	10	124
		gesamt	115,5	4,3	1251	166	42	10	270
4	Waldmohr (Sandstein (Karbon))	db	68,5	5,7	1802	257	82	74	373
		gesamt	76,9	7,7	2855	1128	291	102	593
5	Kirchheimbolanden (Rhyolith, Rotliegend)	db	100,5	5,9	1187	428	56	40	171
		gesamt	101,5	6,0	1219	462	62	43	179
6	Idar-Oberstein (Quarzit, Devon)	db	131,0	7,1	1512	64	23	104	211
		gesamt	133,2	7,5	1739	69	26	115	263
7	Morbach (Quarzit, Devon)	db	95,5	6,4	1548	188	140	138	256
		gesamt	98,0	8,3	2136	194	148	166	331
8	Adenau (Silt- und Fein- sandstein, Devon)	db	105,1	6,3	949	51	19	29	146
		gesamt	107,9	7,8	1256	56	25	40	201
9	Hermeskeil 1 (Sandstein, Devon)	db	90,6	6,0	1239	23	10	29	125
		gesamt	93,7	6,7	1769	28	14	39	196
10	Hermeskeil 2 (Sandstein, Devon)	db	156,6	10,2	2547	36	24	63	319
		gesamt	173,7	14,4	4402	73	50	96	576

BDF Nr.	BDF		Kohlenstoff	Stickstoff	Phosphor	austauschbares Calcium	austauschbares Magnesium	austauschbares Natrium	austauschbares Kalium
			(t/ha)	(t/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
			Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
11	Schneifel 2 (Ton- und Siltstein, Devon)	db	99,0	10,1	3061	5268	543	112	536
		gesamt	101,4	11,1	4061	11358	908	143	719
12	Schneifel 1 (Quarzit, Devon)	db	104,1	6,4	1511	48	21	99	248
		gesamt	110,6	7,9	2198	86	31	132	406
13	Neuhäusel 1 (Bimslapilli, Lösslehm Quartär)	db	152,6	13,2	3047	754	62	201	490
		gesamt	157,8	14,8	3933	3400	623	620	1787
14	Neuhäusel 2 (Sandstein, Devon)	db	77,2	7,5	2012	256	150	104	380
		gesamt	81,0	9,4	2766	1052	666	154	591
15	Hagenbach (fluviatiler Sand, Pleistozän)	db	130,1	9,4	1323	9974	1354	330	278
		gesamt	181,2	12,4	2380	17539	2332	465	482
16	Wallmerod (Basalt, Tertiär)	db	118,6	9,5	2609	7137	3000	256	505
		gesamt	135,5	11,1	11288	32863	15302	1011	1305

db = durchwurzelbarer Bodenraum,

gesamt = gesamte Profiltiefe

6. LITERATUR

AD-HOC-AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Hannover.

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., Hannover.

GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK (HRSG.) (2005): Handbuch forstliche Analytik.

BARTH, N, BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B. SCHILLING, B. & J. UTERMANN (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.

BLOCK, J. (2002): Versauerung und Stickstoffsättigung an Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. UBA (2000):, Bodendauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern. S. 101-110). UBA-Texte66/02. Umweltbundesamt.

FORTMANN, H. & H. MEESENBURG (2009): Radioaktives Cäsium in Waldböden Niedersachsens – 20 Jahre nach Tschernobyl Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. GeoBerichte 11. Hannover.

ZOTH, R. & J. BLOCK (1993): Untersuchung des Standes und der Entwicklung der Bodenversauerung und des Nährstoffgehaltes in Waldgebieten anhand von Bodendauerbeobachtungsflächen. Schlussbericht zum EG-Forschungsvorhaben Nr. 90 60 DL.012.0. Bereich Feldversuche zur Verbesserung der Kenntnisse über die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Degradation von Waldböden.