



Auswertung der Ergebnisse zu bodenchemischen Untersuchungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen in NRW

LANUV-Fachbericht 44



**Auswertung der Ergebnisse zu bodenchemischen Untersuchungen auf
Bodendauerbeobachtungsflächen in NRW**

LANUV-Fachbericht 44

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2015

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Der vorliegende LANUV-Fachbericht basiert auf einer Auswertung von Untersuchungen auf den Bodendauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen, die vom Ingenieurbüro Dr. Feldwisch in Bergisch Gladbach im Auftrag des LANUV erstellt wurde.

Autoren Dr. Norbert Feldwisch, Dipl.-Geol.Thomas Lendvaczky (Ingenieurbüro Dr. Feldwisch)

Mitarbeit Dipl.-Geogr. Ronald Steudte-Gaudich (GD NRW), Ingrid Stempelmann (LANUV), Dr. Heinz Neite (LANUV), Dr. Joachim Gehrman (LANUV)

Redaktion Ingrid Stempelmann (LANUV)

Bildnachweise Geologischer Dienst NRW, LANUV

Stand August 2021 (korrigierte Fassung)

Titelbild LANUV, oben links: Geologischer Dienst NRW

ISSN 1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachberichte

Informationsdienste Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschaftsdienst Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV
(24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Veranlassung und Zielsetzung	11
2 Bodendauerbeobachtung in Nordrhein-Westfalen.....	13
2.1 Lage und Charakteristika der BDF	13
2.2 Probennahme.....	15
2.3 Analysenumfang	16
2.4 Datenaufbereitung.....	16
2.5 Auswertungen	19
2.5.1 Deskriptive Statistik	19
2.5.2 Grafische Auswertungen	20
2.5.3 Signifikanztest	21
2.5.4 Qualitativer Vergleich	22
3 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen	23
3.1 Status der Bodeneigenschaften der BDF	23
3.1.1 Repräsentativität der BDF-Ergebnisse	23
3.1.2 Vergleichende Betrachtung der BDF- mit FIS StoBo-Daten.....	24
3.1.3 Streuung der Analyseergebnisse.....	26
3.1.4 Flächenheterogenitäten.....	27
3.1.5 Standortübergreifende Auswertung der Wald-BDF	31
3.2 Unterschiede der Bodeneigenschaften zwischen Erst- und Zweitprobung.....	33
3.2.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik	33
3.2.2 Grafischer Mittelwertvergleich	35
3.2.3 Signifikanztest mit Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test.....	38
3.2.4 Qualitativer Vergleich der Ergebnisse der Wald-BDF	40
3.3 Tiefenverteilung der Bodeneigenschaften	43
3.4 Versauerung	45
3.4.1 pH-Werte.....	46
3.4.2 Belegung des Austauscherkomplexes.....	51
3.4.3 Blei:Cadmium-Verhältnis	57
3.5 Substrateinfluss.....	61
3.5.1 Ausgangsgesteine.....	61
3.5.2 Tongehalt bzw. Bodenarten.....	63

3.6	Nutzungseinfluss	64
3.6.1	BDF-übergreifende Ergebnisse	64
3.6.2	Vergleich der Wald-BDF mit den Grünland-BDF	66
3.7	Humusparameter	68
3.7.1	Veränderungen der Humusparameter	68
3.7.2	Einfluss der C _{org} -Gehalte auf die Schadstoffgehalte	70
4	Vergleich mit Ergebnissen anderer Bundesländer	71
4.1	Einleitung	71
4.2	Länderübergreifende Auswertungen	71
4.3	Auswirkungen der Versauerung	74
4.4	Weitere für Nordrhein-Westfalen bedeutende Untersuchungsergebnisse anderer Bundesländer unter Berücksichtigung spezieller Aspekte	76
4.4.1	Schadstoffanreicherungen im Straßenrandbereich	76
4.4.2	Entwicklung der Humusgehalte	77
4.4.3	Organische Schadstoffe	80
5	Zusammenfassung	82
6	Literaturverzeichnis	84
7	Anhang	88
7.1	Detaillierte Charakterisierung der 21 BDF in Nordrhein- Westfalen	89
7.2	Ausgangssubstrate der Bodenbildung und Zuordnung der BDF zu Substratgruppen mit ähnlichen Bodeneigenschaften	90
7.3	Qualitativer Vergleich der Ergebnisse der Zweit- im Vergleich zur Erstbeprobung für ausgewählte Parameter der Auflageproben und der mineralischen Tiefenstufen bis 60 cm Tiefe auf Grundlage der flächenspezifischen gemittelten Werte, nur Wald-BDF (Bezugswert: Erstbeprobung=100%)	92
7.4	Austauscherbelegungen und pH-Werte der Tiefenstufen der Zweitbeprobung (GOC, HAAa Erstbeprobung)	94
7.5	Dokumentation der Ergebnisse einzelner BDF	99
7.5.1	Lammersdorf Fichte (LAM Fi)	99
7.5.2	Kleve Tannenbusch (KLE Tb)	102
7.5.3	Kleve Rehsol (KLE Re)	105
7.5.4	Velmerstot (VEL)	108
7.5.5	Elberndorf (ELB)	111
7.5.6	Glindfeld (GLI)	114
7.5.7	Haard (HAA)	117
7.5.8	Schwaney (SCH)	121

7.5.9	Duisburg Wald (DUI Wa)	124
7.5.10	Essen Süd (ESS Sü)	128
7.5.11	Bottrop (BOT)	132
7.5.12	Castrop-Rauxel (CAR)	136
7.5.13	Lammersdorf Buche (LAM Bu)	140
7.5.14	Everswinkel (EWI)	144
7.5.15	Goch (GOC)	147
7.5.16	Duisburg Mattlerbusch (DUI Ma)	150
7.5.17	Duisburg Biegerhof (DUI Bi)	155
7.5.18	Kleve außerhalb Wald (KLE a)	158
7.5.19	Lütkenberg (LÜK)	160
7.5.20	Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a)	163
7.5.21	Haard außerhalb Wald (HAA a)	165

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2–1:	Lage in den Großlandschaften und Nutzungsart der BDF in Nordrhein-Westfalen (Quelle: LANUV 2011)	13
Abb. 2–2:	Beispielhafte Probennahmeskizze auf einer 60 x 90 m großen BDF für bodenchemische Untersuchungen (LUA 2005a)	15
Abb. 2–3:	1:1-Plot der Cadmiumgehalte im Königswasseraufschluss und Messung im Grafitrohr-AAS bzw. ICP der Wiederholungsbeprobung 2005 bei den BDF Glindfeld und Velmerstot	17
Abb. 2–4:	Box-Whisker-Plot (schematisch) (LUA 2006, verändert)	21
Abb. 2–5:	Säulendiagramm mit 95%-Vertrauensbereich (schematisch)	21
Abb. 3–1:	Bleigehalte – Wald-BDF (Feldparallelen der Erst- und Zweituntersuchung; N = 12) im Vergleich zu FIS StoBo-Daten im 10x10km-Umfeld (N = uneinheitlich).....	25
Abb. 3–2:	Bleigehalte (Box-Whisker-Plots) – Grünland-BDF im Vergleich zu FIS StoBo-Grünlandmessstellen im 10x10km-Umfeld	24
Abb. 3–3:	Bleigehalte (oben) und Corg-Gehalte (unten) in 0-2 cm Bodentiefe der Feldparallelen der Erst- und Zweituntersuchung* an vier ausgesuchten BDF (* Zweituntersuchung schraffiert)	28
Abb. 3–4:	Variationskoeffizienten [%] der Bleigehalte (oben) und der Corg-Gehalte (unten) der Tiefenstufen 0-2cm und 2-5cm an ausgewählten BDF	29
Abb. 3–5:	Regression zwischen Corg- und Bleigehalten in der Bodentiefe 0-2 cm der BDF VEL	30
Abb. 3–6:	Spannweiten und statistische Kennwerte für pH, Basensättigung, Pb- und Corg-Gehalte des Mineralbodens der Wald-BDF differenziert nach den beprobten Tiefenstufen (Die BDF-Kürzel – zum Teil schichtübergreifend – verdeutlichen, an welchen BDF Ausreißer und/oder Extremwerte auftreten: Die BDF, an denen nur im geringem Umfang Ausreißer auftreten, sind in Klammern gesetzt.).....	32
Abb. 3–7:	Arithmetische Mittelwerte für pH, As, Cd und Pb der obersten Tiefenstufen in 0-2 bzw. 0-5 cm Tiefe der Erst- (EB) und Zweitbeprobung (ZB) mit 95%-Vertrauensbereich .37	
Abb. 3–8:	Arithmetische Pb- und Cd-Mittelwerte [mg/kg] der beprobten Tiefenstufen der Standorte DUI Bi, ELB und GLI; Mittelwerte der Erst- und Zweitbeprobung mit 95%-Vertrauensbereich (fehlende Balken = keine Werte für den entsprechenden Termin).	44
Abb. 3–9:	pH-Werte der Feldparallelen für die Tiefenstufen der BDF Elberndorf 2005 und Veränderung im Vergleich zu 1995.....	47
Abb. 3–10:	pH-Werte der Feldparallelen für die Tiefenstufen der BDF Glindfeld 2005 und Veränderung im Vergleich zu 1995.....	48
Abb. 3–11:	pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der sehr stark bis extrem versauerten BDF der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)	49
Abb. 3–12:	pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der BDF mit karbonatischen Ausgangssubstraten der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)	50
Abb. 3–13:	pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der Grünland-BDF (inkl. DUI Bi Parkwiese) der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)	51
Abb. 3–14:	Austauscherbelegung und pH-Wert der Tiefenstufen auf der BDF Elberndorf 1995 und 2005	55

Abb. 3–15:	Austauscherbelegung und pH-Wert der Tiefenstufen auf der BDF Glindfeld 1995 und 2005	56
Abb. 3–16:	Veränderung des Blei:Cadmium-Verhältnisses (logarithmische Skala) in Abhängigkeit vom pH-Wert in den verschiedenen Tiefenstufen der BDF	58
Abb. 3–17:	Veränderung des Blei:Cadmium-Verhältnisses (logarithmische Skala) in Abhängigkeit vom pH-Wert in der obersten Mineralbodenschicht (Wald 0-5 cm; Grünland: 0-10 cm; Acker: 0-30 cm) Daten: Bodenbelastungskarten des Rheinisch-Bergischen Kreises, Märkischen Kreises und Kreises Olpe	60
Abb. 3–18:	pH-Tiefengradient bei unterschiedlichen Ausgangssubstraten der Bodenbildung*....	62
Abb. 3–19:	Bleigehalte der Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe in Abhängigkeit vom Ton-Gehalt bzw. der Bodenartenhauptgruppe (n =254 Datenpaare).....	63
Abb. 3–20:	Mittelwerte der Bleigehalte bis 10 cm Tiefe aller BDF differenziert nach der Nutzung. Oben: schichtübergreifend. Unten: getrennt für die einzelnen Tiefenstufen (°/* = Ausreißer- bzw. Extremwerte).....	65
Abb. 3–21:	Vergleich der mittleren pH-Werte sowie der As-, Cd- und Pb-Gehalte der obersten Tiefenstufe 0-2 cm für die Wald-BDF HAA, KLE und LAM mit den jeweiligen Grünland-Referenzstandorten (0-5 cm); N=6 Feldparallelen für beide Erhebungen (EB = Erstbeprobung, ZB = Zweitbeprobung).....	67
Abb. 3–22:	Mittlere Humuskennwerte der BDF DUI Wa, HAA und KLE Re der Tiefenstufen 0-2 und 2-5 cm beider Beprobungstermine sowie deren relative Änderung (Erstbeprobung = 100 % bzw. Relativwert 1).....	69
Abb. 3–23:	Bleigehalte der Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe in Abhängigkeit vom Corg-Gehalt (Wald-BDF, n = 547 Datenpaare).....	70
Abb. 4–1:	Vorräte austauschbarer basischer Kationen im Mineralboden (0 – 50 cm) eines Buchen- und eines Fichtenbestandes im Solling zwischen 1968 und 2010 (Meesenburg et al. 2002 und 2011).....	74
Abb. 4–2:	C- und N-Vorräte in der Humusauflage (Solling) (Meesenburg et al. 2011).....	75
Abb. 4–3:	Bilanzräume der Intensiv-BDF Bruchsal/Forst (Foto: © LUBW).....	76
Abb. 4–4:	Mittlere Corg-Gehalte der vier Beprobungsserien (Capriel & Seiffert 2009).....	78
Abb. 4–5:	Relative Veränderungen der Humusvorräte in der Humusauflage (oben) und im Mineralboden (unten) der Wald-BDF Niedersachsens (Fleck & Höper 2011).....	79
Abb. 4–6:	Humusvorräte an der BDF Solling (Buche) in Abhängigkeit vom 5-Jahres-Mittel des Bodenfeuchtevorrats im Sommerhalbjahr (Fleck & Höper 2011)	80

Tabellenverzeichnis

Tab. 2–1:	Charakterisierung der 21 BDF in Nordrhein-Westfalen (nach LANUV 2009, verändert)	14
Tab. 2–2:	Anzahl der Messwerte zur Datenauswertung	18
Tab. 3–1:	Mittlere Variationskoeffizienten [%] der Gehalte an anorganischen Elementen* der BDF differenziert nach Erst- und Zweituntersuchung	26
Tab. 3–2:	Kennwerte der Pb- und Corg-Gehalte ausgewählter BDF für Mineralbodenproben bis 30 cm mit qualitativer Klassifizierung der Unterschiede zwischen den beiden Probenterminen	34
Tab. 3–3:	Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für Arsen und Schwermetalle in der Tiefenstufe 0-2cm der Wald-BDF	38
Tab. 3–4:	Irrtumswahrscheinlichkeiten für die Paardifferenzen nach Wilcoxon-Test für As, Cd und Pb in der Tiefenstufe 0-2 cm aller BDF*	39
Tab. 3–5:	Qualitativer Vergleich der Mittelwerte ausgewählter Parameter der Zweit- mit der Erstbeprobung für die Tiefenstufen 0-2 cm und 2-5 cm der WALD-BDF	42
Tab. 3–6:	Beziehung zwischen Basensättigungsgrad BS und pH-Wert (AG Boden 2005)	52

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AN-Extrakt	Ammoniumnitratextrakt; Extraktionsverfahren zur Analyse leicht verfügbarer anorganischer Schadstoffe im Boden
As	Arsen
BBK	(digitale) Bodenbelastungskarte(n)
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche(n)
bspw.	beispielsweise
C	Kohlenstoff
Cd	Cadmium
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
et al.	et alii, lateinisch für ‚und andere‘
etc.	et cetera, lateinisch für ‚und weiteres‘
FIS StoBo	Fachinformationssystem Stofflicher Bodenschutz
ggf.	gegebenenfalls
H	Wasserstoff
Hg	Quecksilber
ha	Hektar
Hual	Humusaufgabe
i. d. R.	in der Regel
KAK	Kationenaustauschkapazität
k. A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
KW-Extrakt	Königswasserextrakt; Extraktionsverfahren zur Analyse anorganischer Schadstoffe im Boden
LABO	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LUA	ehemaliges Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, jetzt LANUV
Mb-Kationen	basische Kationen
m ³	Kubikmeter
N	Stickstoff
Ni	Nickel
NRW	Nordrhein-Westfalen
N _t	Gesamt-Stickstoff (organischer und mineralischer Stickstoff)
o. g.	oben genannt(e)/(en)
o. J.	ohne Jahresangabe
oTM	organische Trockenmasse
Pb	Blei
SAG	Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz
s.	siehe
Stg	Steingehalt
t	Tonnen

TI	Thallium
TM	Trockenmasse
TOC	total organic carbon = gesamter organischer Kohlenstoff
u. a.	unter anderem
VO	Verordnung
z. B.	zum Beispiel
Zn	Zink

1 Veranlassung und Zielsetzung

Seit 1995 wurden in Nordrhein-Westfalen 21 Flächen für eine Bodendauerbeobachtung eingerichtet. Mit dem BDF-Programm verfolgt Nordrhein-Westfalen das Ziel, mögliche Veränderungen der natürlichen Bodenfunktionen zu registrieren. Wesentliche Zielsetzung ist die Erfassung und Beurteilung der Versauerungsproblematik unter Wald.

Die BDF-Programme liefern wertvolle Erkenntnisse über Bodeneigenschaften, Bodenprozesse und Wechselwirkungen der Böden mit anderen Umweltkompartimenten. Auch Veränderungen der Böden im Zuge des Klimawandels sind nur anhand langfristiger Bodenuntersuchungsprogramme nachzuvollziehen. Aus diesem Grund sind die BDF-Standorte schützenswürdig und sollten langfristig gesichert und dokumentiert werden. So empfiehlt auch der LABO-Leitfaden Archivböden den Schutz der BDF-Standorte und weiterer Monitoringstandorte als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte (LABO 2011).

Die Bedeutung der BDF-Programme ergibt sich auch aus der Möglichkeit, länderübergreifende Auswertungen biologischer, physikalischer und chemischer Bodenparameter vorzunehmen, um Wechselwirkungen und Veränderungen der untersuchten Bodeneigenschaften nachzugehen (KAUFMANN-BOLL et al. 2011, SCHILLI et al. 2011). Auf Grund der Vielzahl der erfassten Parameter bieten die BDF-Programme eine einzigartige Datengrundlage für eine stetige Verbesserung des Prozessverständnisses.

Die Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland verfolgt nach BARTH et al. (2000/2001) drei wesentliche Ziele:

1. den aktuellen Zustand des Bodens zu erfassen und darzustellen,
2. die langfristigen Änderungen der Böden zu beschreiben und
3. zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren.

Das BDF-Programm Nordrhein-Westfalens erhebt nicht den Anspruch einer flächenrepräsentativen Erhebung des Zustands von Böden und deren Veränderungen. Stattdessen werden die Untersuchungen an ausgewählten Standorten vorgenommen. Damit wird das Ziel verfolgt, spezifische Belastungssituationen im Hinblick auf langfristige Änderungen der Bodenzustände beschreiben und zukünftige Entwicklungen prognostizieren zu können.

Überwiegend sind Nadel- und Laubwaldflächen in das BDF-Programm aufgenommen worden, um die Versauerung mit ihren Auswirkungen auf die Böden beurteilen zu können. Daneben sind Referenzflächen außerhalb des Waldes in unmittelbarer Nachbarschaft der untersuchten Waldflächen, eine Parkwiese sowie ein extensiv bewirtschaftetes Grünland in das Programm aufgenommen worden.

Die Ergebnisse der BDF-Untersuchungen umfassen deren bodenchemische und bodenbiologische Eigenschaften. Gegenstand dieses Berichtes ist die Auswertung der chemischen Daten; die bodenbiologischen Ergebnisse sind in einem gesonderten Bericht dokumentiert (LANUV 2009).

Spezielle Auswertungen zum Status und zur Entwicklung der Humusgehalte und -vorräte sind Gegenstand eines eigenständigen Monitoringprojektes¹.

Mit Abschluss des Untersuchungsjahres 2009 liegen nunmehr von allen Flächen die Erstuntersuchung und mit Ausnahme von 2 Flächen eine Wiederholungsuntersuchung vor, so dass an Hand der vorliegenden Daten eine Zustandsbeschreibung möglich ist. Darüber hinaus wird möglichen Veränderungen zwischen Erst- und Zweituntersuchung nachgegangen.

¹ LANUV Jahresbericht 2009: Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden – Humusmonitoring-Projekt, S. 64-65.

http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/jahresberichte/jabe2009/JPB_2009.pdf

LANUV Jahresbericht 2010: Humusmonitoring-Projekt – Erste Ergebnisse, S. 68-69.

http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/jahresberichte/jabe2010/LANUV_Jahresbericht_2010_kw.pdf

2 Bodendauerbeobachtung in Nordrhein-Westfalen

2.1 Lage und Charakteristika der BDF

In Nordrhein-Westfalen wurden bis Ende 2007 insgesamt 21 BDF angelegt und beprobt. Ihre räumliche Lage in den Großlandschaften und ihre Nutzungsart sind in Abb. 2–1 angegeben. Details zu den Flächen sind insbesondere bei LUA (2005a) beschrieben. Tab. 2–1 fasst die wesentlichen Charakteristika der Standorte zusammen. Detaillierte Informationen zu den einzelnen BDF sind im Anhang aufgeführt (Kap. 7).

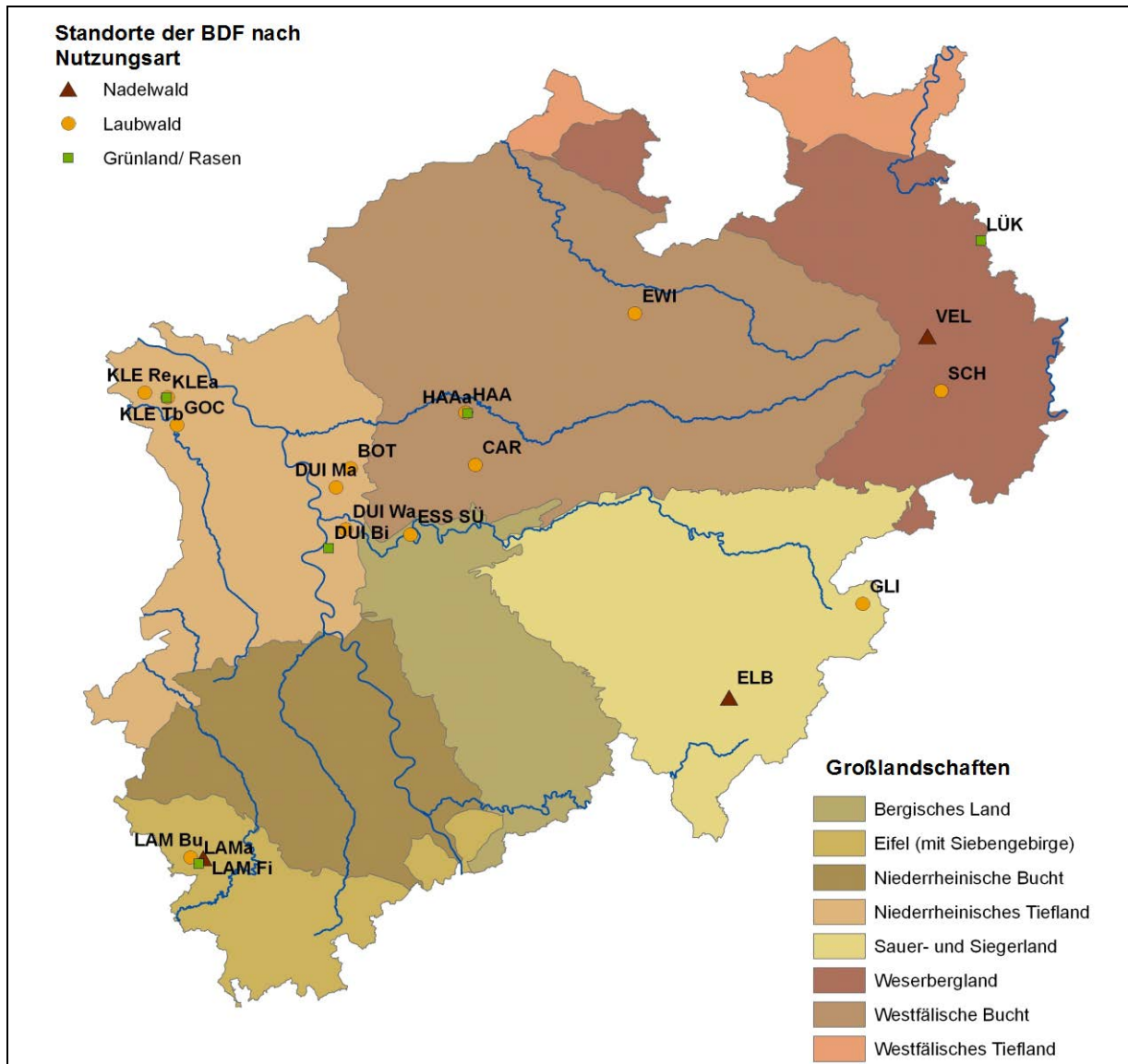


Abb. 2–1: Lage der BDF in den Großlandschaften und Nutzungsarten der BDF in Nordrhein-Westfalen (Quelle: LANUV 2011)

Tab. 2–1: Charakterisierung der 21 BDF in Nordrhein-Westfalen (nach LANUV 2009, verändert)

BDF Nr.	BDF-Name (Abkürzung)	Höhe ¹ (m)	NS ² (mm)	Temp. ³ (°C)	Nutzung	Beprobungsjahre	Belastungssituation ⁴	Anmerkungen
1. Waldstandorte mit unterschiedlichen Emittenteneinflüssen								
1.1	Lammersdorf Fichte (LAM Fi)	565	1100	6,5		1996, 2006	H+	Level-II-Fläche
1.2	Kleve Tannebusch (KLE Tb)	40	725	9,6	Laubwald	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.3	Kleve Rehsol (KLE Re)	40	725	9,6	Laubwald	1996, 2006	H+	Bestands-Biomonitoring
1.4	Velmerstot (VEL)	415	1250	6,5	Nadelwald	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.5	Elberndorf (ELB)	675	1200	6,3	Nadelwald	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.6	Glindfeld (GLI)	525	700	6,4	Laubwald	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.7	Haard (HAA)	75	800	9,3	Laubwald	1996, 2006	H+, SM	Level-II-Fläche
1.8	Schwaney (SCH)	380	1050	7,5	Laubwald	1996, 2006	H+	Level-II-Fläche
1.9	Duisburg Wald (DUI Wa)	65	775	10,3	Laubwald	1996, 2006	H+, SM	Bestands-Biomonitoring, gewachsener alter Wald
1.10	Essen-Süd (ESS Sü)	140	900	9,5	Laubwald	1997, 2007	H+, SM	
1.11	Bottrop (BOT)	63	800	9,5	Laubwald	1997, 2007	H+, SM	
1.12	Castrop-Rauxel (CAR)	73	785	9,8	Laubwald	1997, 2007	H+, SM	
1.13	Lammersdorf Buche (LAM Bu)	448	1100	6,5	Laubwald	1999, 2007	H+	Level-II-Fläche
1.14	Everswinkel (EWI)	64	750	9,3	Laubwald	1999, 2009	H+	Bestands-Biomonitoring
1.15	Goch (GOC)	16	675	9,6	Laubwald	2003, –	H+	Wiederholungsuntersuchung erfolgt erst 2013.
2. Emittentennahes Belastungsgebiet Duisburg mit Schwermetallakkumulation								
2.1	Duisburg-Mattlerbusch (DUI Ma)	30	775	10,3	Laubwald	1996, 2006	H+, SM	Aufforstung eines ehemaligen Ackers vor ca. 20 Jahren
2.2	Duisburg-Biegerhof (DUI Bi)	40	800	10,3	Parkwiese	1996, 2006	SM	
3. Referenzstandorte außerhalb von Wald								
3.1	Kleve außerhalb Wald (KLE a ⁵)	34	725	9,6	Grünland	2000, 2009	–	nahe Level-II-Fläche (Wald)
3.2	Lütkenberg (LÜK)	240	850	8,0	Grünland	2000, 2009	–	
3.4	Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a ⁵)	575	1100	7,7	Grünland	1999, 2009	–	nahe Level-II-Fläche (Wald)
3.5	Haard außerhalb Wald (HAA a ⁵)	75	800	9,3	Grünland	1999, –	–	nahe Level-II-Fläche (Wald) (nur Erstbeprobung, als BDF aufgegeben)

¹ Höhe über N.N. (normal Null)² Langjähriger mittlerer Jahresniederschlag³ Langjähriges Jahresmittel der Lufttemperatur⁴ Belastung insbesondere durch Säureeinträge (H+) bzw. Schwermetalle (SM)⁵ Die Flächen mit der Bezeichnung „a“ beziehen sich auf Grünlandstandorte, die als Referenz zu benachbarten Level-II-Waldflächen ausgewählt wurden.

2.2 Probennahme

Die Probenahmen für die Untersuchungen erfolgten auf ca. 5000 m² großen Teilflächen der BDF nach einer einheitlichen Vorgehensweise, deren Details LUA (2005a) entnommen werden kann. Hier wird nur das grundlegende Beprobungsschema erläutert.

Die BDF sind in ein Raster von 3 x 3 m großen Stichprobenflächen unterteilt worden (Abb. 2–2). An den Waldstandorten sind auf 24 gleich verteilten, ausgewählten Stichprobenflächen tiefenbezogen die Bodenproben für die Erstuntersuchung entnommen worden. Bei der darauf folgenden Zweitbeprobung wurden 24 benachbarte Stichprobenflächen – so weit wie möglich unter Ausschluss ggf. untypisch gestörter Bereiche – ausgewählt.

Je vier benachbarte Stichprobenflächen werden zu Feldparallelen (Mischproben) zusammengefasst, so dass für jede BDF unter Waldnutzung und jeden Beprobungstermin sechs Analyseergebnisse pro Tiefenstufe und untersuchtem Parameter vorliegen. Auf den Referenzflächen mit Grünlandnutzung wurden je Beprobungstermin fünf Stichprobenflächen untersucht; dort erfolgte keine Zusammenfassung zu Feldparallelen.

In Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten liegen je Feldparallele bzw. Stichprobenfläche Ergebnisse aus 4 – 8 Tiefenstufen vor. Im Mineralboden wurde schichtweise metrisch und in der Auflage horizontspezifisch beprobt.

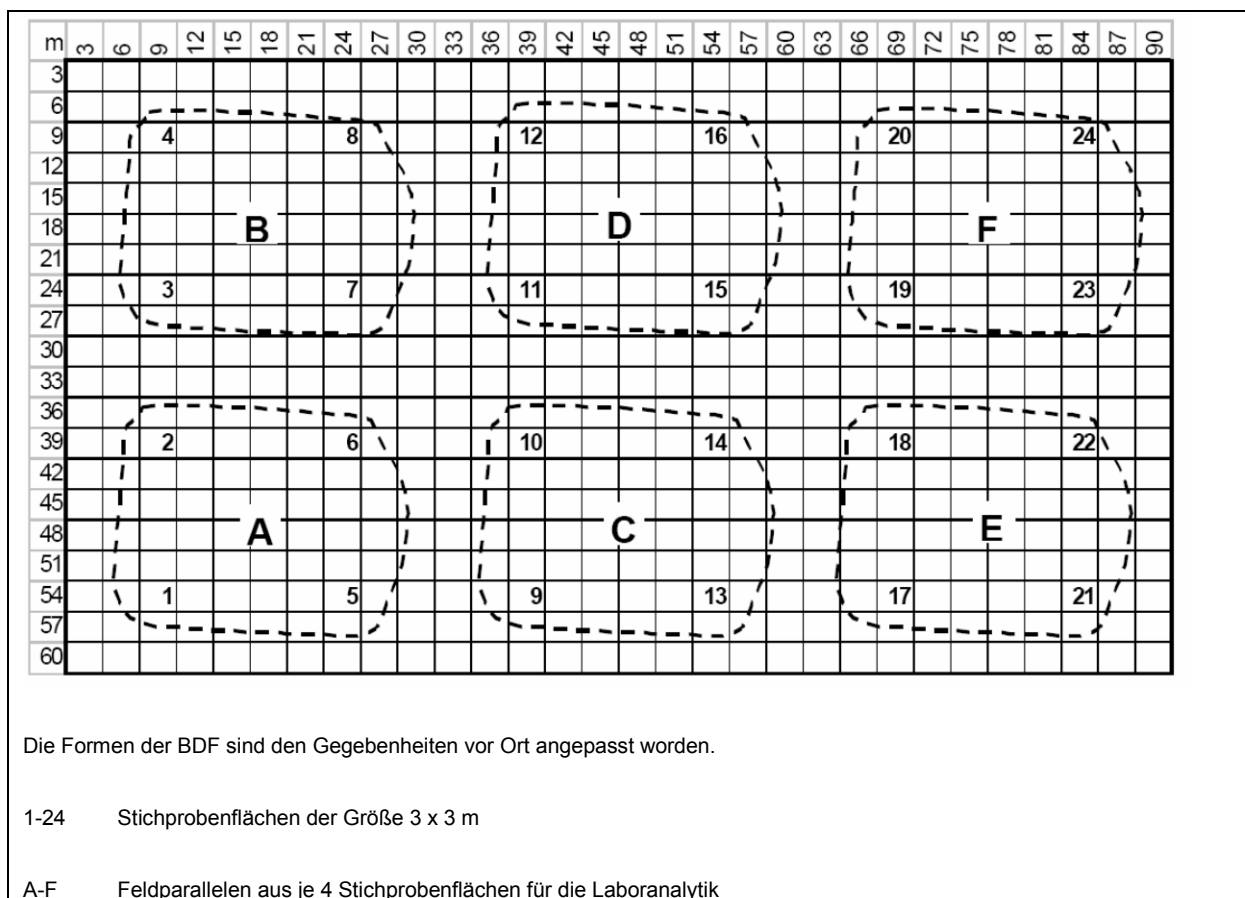


Abb. 2–2: Beispielhafte Probennahmeskizze auf einer 60 x 90 m großen BDF für bodenchemische Untersuchungen (LUA 2005a)

2.3 Analysenumfang

Folgende Bodenparameter wurden erfasst:

- Bodenart (nur Erstbeprobung)
- Steingehalt
- Humusaufgabe
- pH-Wert (CaCl₂)
- organischer Kohlenstoff
- Gesamtkohlenstoff (Zweitbeprobung)
- CO₃ / CaCO₃-Gehalte (Zweitbeprobung)
- Gesamtstickstoff
- Austauschbare Kationen: Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, H, AK_{eff}, AK_{pot}
- Gesamtgehalte (Königswasseraufschluss): Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Ti, As

2.4 Datenaufbereitung

Zum Projektbeginn im September 2011 wurden vom LANUV Nordrhein-Westfalen die in den internen Landesdatenbanken vorgehaltenen Messdaten zu den BDF in Nordrhein-Westfalen für die Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt. Die Übermittlung der Datenbankauszüge erfolgte für die 21 BDF in separaten Teildatensätzen, die alle erhobenen Messdaten der bisher durchgeführten Untersuchungen auf den jeweiligen Dauerbeobachtungsflächen beinhalten.

Im Rahmen des BDF-Programms sind bisher an zwei Terminen Bodenuntersuchungen durchgeführt worden. Dabei wurden insgesamt 53 Bodenparameter erfasst, wobei der Umfang der analytisch bestimmten Parameter zwischen einzelnen Messterminen und für unterschiedliche Beprobungstiefen auf einer BDF sowie zwischen unterschiedlichen Standorten variiert. Für die Waldstandorte lagen in der Datenbank Analysedaten für jeweils sechs Feldparallelen der Erst- und Zweitbeprobung vor, an den Grünlandstandorten für jeweils fünf Stichprobenflächen (siehe Kap. 2.2). Die Parameter Steingehalt (*Stg*) und Humusaufgabe (*HuAl*) waren für alle BDF als Einzelmesswerte der Stichprobenflächen vorgehalten, so dass in den Urdaten keine Messwerte zu *Stg* und *HuAl* der Feldparallelen hinterlegt waren.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die einzelnen Datenbankauszüge hinsichtlich der Parameterumfänge und der Datenbankstruktur überprüft, um die Messdaten in einem Datenblatt zusammenführen zu können. Nach der Zusammenführung der Teildatensätze standen insgesamt 8.074 Parameterdatensätze mit insgesamt 60.589 Messwerten als Grundgesamtheit zur weiteren Bearbeitung und Auswertung zur Verfügung. Alle nachfolgend beschriebenen Änderungen bzw. Modifikationen der Datenbasis sind in enger Abstimmung mit dem LANUV erfolgt.

Im Rahmen der Validierung aller Messdaten wurden umfangreiche Datenabgleiche zur Identifizierung von Redundanzen und Inkonsistenzen durchgeführt. Es konnten sieben redundante Arsenmesswerte (BDF Bottrop) identifiziert werden, die aus der Grundgesamtheit elimi-

niert wurden. Für die Dauerbeobachtungsfläche LAM Fi waren neben den Parameterdatensätzen der Feldparallelen zusätzlich 268 Messwerte für die Stichprobenfläche P29 enthalten; diese wurden nicht in die Datenbasis für die weiteren Auswertungen übernommen. Des Weiteren waren insgesamt 604 Nullwerte in den Urdaten enthalten; diese sind als valide Analyseergebnisse zu betrachten, so dass sie als Messwert in der Datengrundgesamtheit belassen und in die statistischen Auswertungen einbezogen wurden.

Für die meisten untersuchten Parameter erfolgte die Analytik der Erst- und Zweitbeprobung nach unterschiedlichen Analysevorschriften. Bei den Schwermetallen wurden z. B. Bestimmungsmethoden gemäß DIN ISO und HFA (Handbuch forstliche Analytik) angewandt. Teilweise liegen auch drei unterschiedliche Bestimmungsmethoden vor. Bei der Zweitbeprobung der Standorte GLI und VEL erfolgte zudem eine Doppelbestimmung von Cadmium mittels AAS und ICP. Die mit unterschiedlichen Methoden ermittelten Stoffgehalte wurden stichprobenartig mittels 1:1-Plots auf Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse geprüft. Nach Auskunft des LANUV liegen grundsätzlich keine methodenbedingten Einschränkungen der Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse vor. Ein Vergleich der mittels AAS und ICP bestimmten Cadmiumgehalte zeigte jedoch bei einzelnen Wertepaaren einen schlechten Zusammenhang zwischen den Messergebnissen der unterschiedlichen Analyseverfahren (Abb. 2–3). Die Ursachen für diese Diskrepanz konnten nicht vollständig aufgeklärt werden. Es wird vermutet, dass bei den sehr geringen Schadstoffgehalten analytisch bedingte größere Fehlerwahrscheinlichkeiten zu den Abweichungen beigetragen haben. Gleichwohl lagen die mittels AAS bestimmten Cadmiumgehalte auf einem plausiblen Gehaltsniveau und an den übrigen Standorten wurde Cadmium ausnahmslos mittels AAS bestimmt, so dass die entsprechenden Cadmiumwerte in die Datenbank übernommen wurden; die mittels ICP bestimmten Cadmiumgehalte wurden nicht in die Auswertungen einbezogen.

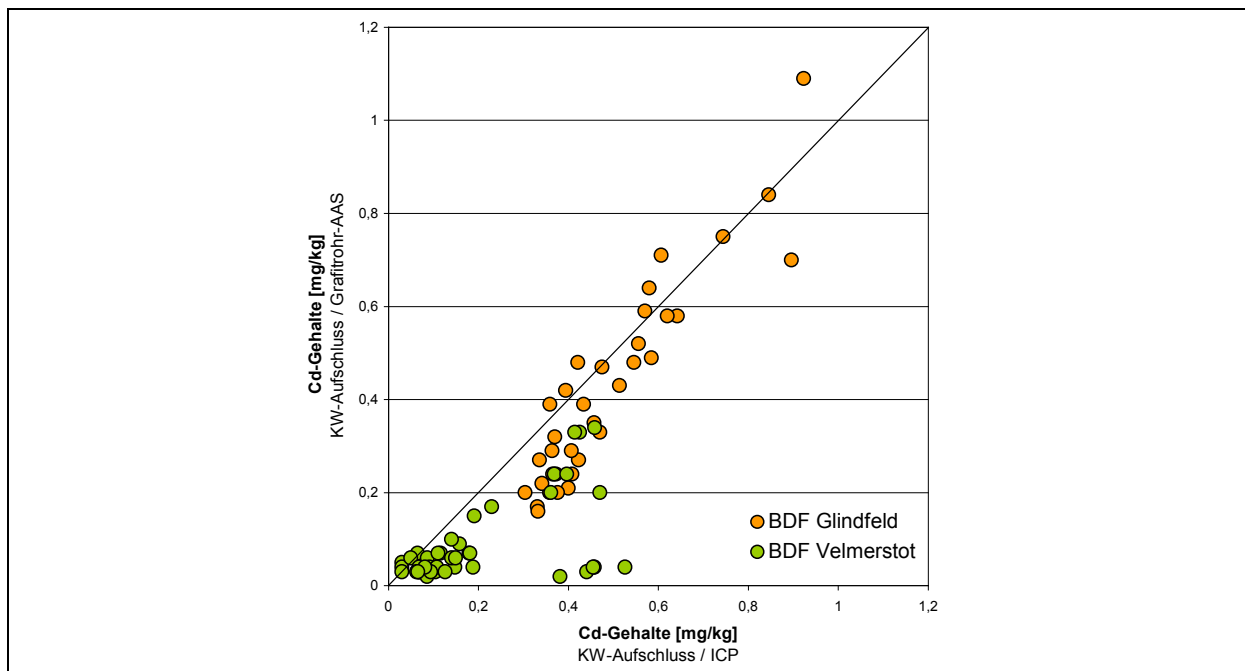


Abb. 2–3: 1:1-Plot der Cadmiumgehalte im Königswasseraufschluss und Messung im Grafitrohr-AAS bzw. ICP der Wiederholungsbeprobung 2005 bei den BDF Glindfeld und Velmerstot

Im nächsten Arbeitsschritt wurden für die Feldparallelen der Waldstandorte die mittleren Werte der Parameter *Stg* und *HuAl* anhand der vorliegenden Messwerte für die Stichprobenflächen bestimmt. Als Berechnungsgrundlage dienten vom LANUV bereitgestellte Zuordnungen der Stichprobenflächen zu den Feldparallelen in tabellarischer Form. Nachdem die Zuordnungen einer Plausibilitätsprüfung unterzogen wurden, erfolgte eine Abstimmung hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Profildaten, sofern benachbarte zu beprobende Stichprobenflächen räumlich verlegt wurden. Nach Übernahme der berechneten mittleren *Stg* und *Hual* der Feldparallelen in die Datenbank wurden die Datensätze der einzelnen Stichproben aus derselben entfernt.

Anschließend wurde eine neue Datenbanktabelle erstellt, in der für jeden Untersuchungsparameter die Messwerte aus unterschiedlichen Bestimmungsverfahren in einer Datenspalte zusammengeführt wurden.

Für die weiteren Datenauswertungen wurden folgende Umrechnungen durchgeführt:

- C_{org} und N_t : Umrechnung der Massenanteile [g/kg TS] in %
- Austausch-Kationen-Konzentrationen: Umrechnung der Massenanteile [mg/kg TS] in Äquivalentkonzentrationen [mmol_c/kg]

Nach Bereinigung der bereitgestellten Daten lag für die Auswertung des stofflichen Zustands und der zeitlichen Entwicklung der BDF nunmehr eine Datenbank mit 1.833 Parameterdatensätzen und insgesamt 54.751 Messwerten vor (Tab. 2–2).

Tab. 2–2: Anzahl der Messwerte zur Datenauswertung

BDF	Messwerte (n) Urdaten	Messwerte (n) bereinigte Daten
LAM Fi	3.518	2.920
KLE Tb	3.940	3.538
KLE Re	3.312	3.090
VEL	3.442	3.062
ELB	3.464	3.134
GLI	2.850	2.521
HAA	3.949	3.544
SCH	3.102	2.794
DUI Wa	3.561	3.194
ESS Sü	3.589	3.250
BOT	3.550	3.213
CAR	3.448	3.123
LAM Bu	3.703	3.349
EWI	3.536	3.186
GOC	1.718	1.575
DUI Ma	2.460	2.205
DUI Bi	1.846	1.733
KLE a	1.539	1.519
LÜK	2.044	1.804
LAM a	1.326	1.306
HAA a	691	691
Summe	60.588	54.751

Anschließend wurde der Parameterumfang um folgende Parameter erweitert, die anhand vorliegender Analysedaten berechnet wurden:

- Bodenarten und Bodenarten-Hauptgruppen aus den drei Fraktionen der Korngrößenanalysen
- C/N-Verhältnis
- Quotient Pb/Cd
- Basensättigung [%] auf Basis der umgerechneten Äquivalentkonzentrationen der Kationen-Austauschkapazitäten

Die vergleichenden Auswertungen der Bodenparameter erfolgten meist auf Grundlage gemittelter Messwerte (siehe Kap. 3). Dazu wurden für jede BDF und jeden Beprobungstermin aus den isobathen Messwerten der Feldparallelen die arithmetischen Mittelwerte gebildet. Die Mittelwertbildung erfolgte durch Abfrage der Messwerte aus der bereinigten Datenbank in einem gesonderten Datenblatt. Bei der Berechnung der mittleren pH-Werte wurden die pH-Werte der Feldparallelen delogarithmiert, dann die mittleren Wasserstoffionenkonzentrationen berechnet, und anschließend durch Relogarithmierung die mittleren pH-Werte bestimmt.

2.5 Auswertungen

Standortübergreifende Auswertungen haben nicht den Anspruch, die Bodeneigenschaften Nordrhein-Westfalens repräsentativ darzustellen. Aus diesem Grund können derartige Auswertungen auch nicht direkt mit BDF-Ergebnissen anderer Bundesländer verglichen werden, deren BDF-Konzept auf eine repräsentative Beprobung von Böden beruht. Standortübergreifende Auswertungen in diesem Bericht dienen zum einen dazu, die Spannweite der Ergebnisse übersichtlich und leicht erfassbar zu dokumentieren. Zum anderen sind einige Zusammenhänge zwischen Einflussfaktoren und Bodeneigenschaften auch an dem nicht repräsentativen Datensatz erkennbar.

2.5.1 Deskriptive Statistik

Die Ergebnisse der Erst- und Zweituntersuchungen wurden einer deskriptiven statistischen Analyse unterzogen. Dazu werden in tabellarischer Form die Minimal- und Maximalwerte, die arithmetischen Mittelwerte und der Variationskoeffizient² angegeben. Weitergehende statistische Kennwerte wie Perzentilwerte oder Medianwerte werden angesichts des begrenzten Stichprobenumfangs je Termin (sechs Feldparallelen) nicht aufgeführt.

² Der Variationskoeffizient ist ein relatives Streuungsmaß, so dass er nicht vom Wertenniveau oder der Maßeinheit der betrachteten Variablen abhängt. Aus diesem Grund kann die relative Streuung unterschiedlicher Variablen direkt miteinander verglichen werden.

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik werden im Kap. 3.2.1 anhand ausgewählter Einzelwerte beschrieben. Für jede BDF und jede beprobte Tiefenstufe werden die Ergebnisse gesondert in den Anhangtabellen in Kap. 7.5 dokumentiert.

2.5.2 Grafische Auswertungen

Die Verteilung von Bodendaten einer Fläche und eines Beprobungszeitpunkts kann mit Hilfe von statistischen Kenngrößen vorgenommen werden. Im Bodenschutz haben sich zur einfachen Charakterisierung der Bodendaten insbesondere folgende Kenngrößen als geeignet erwiesen:

- Median
- Minimum und Maximum
- Perzentilwerte: 10., 25., 75. und 90. Perzentil
- Interquartilabstand
- Ausreißer- und Extremwertschwellen
- Schiefe und Kurtosis (Exzess)
- Vertrauensbereich

Zur Visualisierung eines Teils der vorgenannten Kenngrößen werden häufig **Box-Whisker-Plots** verwendet (Abb. 2–4), die eine schnelle augenscheinliche Bewertung der Verteilungstypen erlauben. Die Box umfasst die mittleren 50 % der Daten, wird also durch das obere und das untere Quartil begrenzt (entspricht dem 25. und 75. Perzentil). In der Box wird durch einen Querstrich der Median angegeben. Die Länge der Whisker („Beinchen“) reicht bis maximal dem 1,5-fachen Wert des Interquartilabstands. Außerhalb liegende Werte sind als statistische Ausreißer bzw. Extremwerte zu interpretieren und werden gesondert dargestellt.

Differenzen der Parameterwerte, die auf unterschiedliche Einflussfaktoren zurückzuführen sind, können mit Hilfe von gepaarten Box-Whisker-Plots veranschaulicht werden.

Neben Box-Whisker-Plots werden die bodenchemischen Ergebnisse auch mit Hilfe von **Säulendiagrammen** dargestellt. Mit den Säulendiagrammen wird zumeist der arithmetische Mittelwert der Feldparallelen eines Parameters jeder BDF visualisiert. Zur Beschreibung der Streuung der Feldparallelen einer BDF wird das 95-%-Vertrauensintervall mit angegeben.

Die im Bericht aufgenommenen Abbildungen sind exemplarisch für alle Bodenparameter ausgesucht worden. So sind beispielsweise Arsen, Cadmium und Blei ausgesucht worden, weil sie sich hinsichtlich anthropogener und naturbedingter Anteile sowie hinsichtlich ihrer Mobilität unterscheiden.

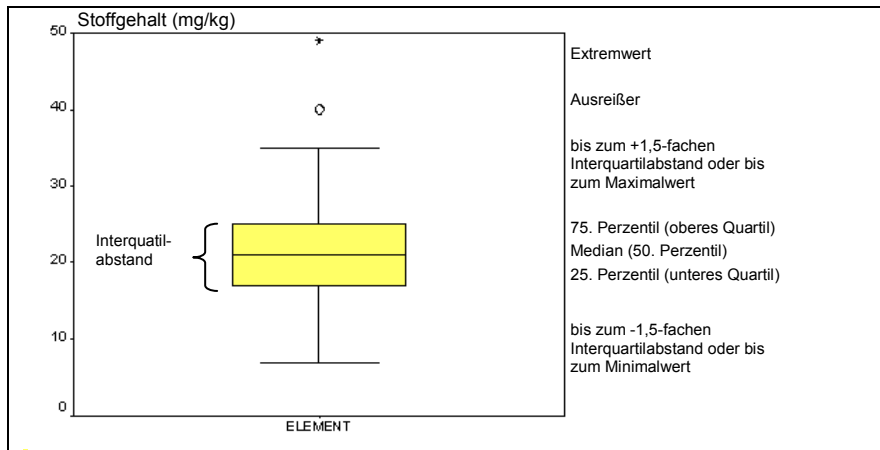


Abb. 2–4: Box-Whisker-Plot (schematisch) (LUA 2006, verändert)

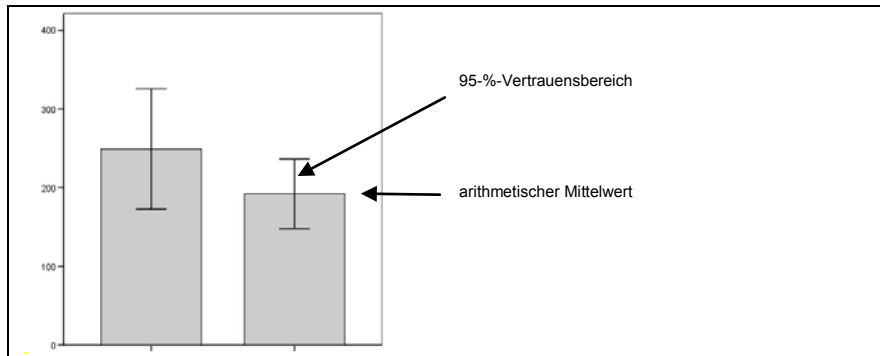


Abb. 2–5: Säulendiagramm mit 95%-Vertrauensbereich (schematisch)

2.5.3 Signifikanztest

Die Ergebnisse der Erst- und Zweituntersuchungen sind hinsichtlich signifikanter Differenzen untersucht worden. Hierzu musste ein entsprechendes statistisches Testverfahren ausgewählt werden. Häufig ist die Anwendung statistischer Testverfahren mit der Annahme verbunden, dass eine Normalverteilung der Testvariablen vorliegt. Da diese Annahme bei den zu untersuchenden bodenchemischen Kennwerten nicht erfüllt ist, müssen verteilungsunabhängige bzw. nichtparametrische Testverfahren angewendet werden. Die Messwertepaare der beiden Beprobungstermine sind dabei als verbundene Stichproben einzustufen (Bestimmung der abhängigen Variablen zu zwei Zeitpunkten).

Zur statistischen Auswertung wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ausgewählt, der im SPSS-Programm³ implementiert ist. Dieses Testverfahren überprüft, ob die verbundenen Grundgesamtheiten der Erst- und Zweitbeprobung anhand der gepaarten Stichproben – hier

³ Verwendet wurde die Windowsversion SPSS 14.0.

jeweils sechs Feldparallelen der Erst- und Zweituntersuchung – die gleichen zentralen Tendenzen aufweisen, mit anderen Worten, ob sich die Messergebnisse der Erst- und Zweitbe-
probung statistisch voneinander unterscheiden oder nicht. Dieser Signifikanztest wurde so-
wohl für einzelne Tiefenstufen einer BDF als auch BDF-übergreifend durchgeführt. Dabei
beschränkte sich die Auswertung auf einige ausgewählte Teildatensätze, um den Rechen-
und Zeitaufwand zu beschränken.

2.5.4 Qualitativer Vergleich

Ergänzend zu statistischen und grafischen Auswertungen der Ergebnisse der Erst- und
Zweituntersuchungen wurden qualitative Vergleiche vorgenommen. Diese Auswertungen
zielen darauf ab, tendenzielle Unterschiede zwischen den Messergebnissen der beiden Be-
probungstermine zu identifizieren, auch wenn diese Tendenzen z. B. auf Grund des ver-
gleichsweise geringen Stichprobenumfangs oder einer zu großen Wertestreuung (noch)
nicht signifikant nachweisbar sind.

Als qualitatives Maß werden prozentuale Abweichungen der arithmetischen Mittelwerte der
Zweit- zur Erstuntersuchung herangezogen. Als Schwellen werden 10 und 30 % Abweichung
verwendet. Dabei wird unterstellt, dass Abweichungen der Messwerte der Zweit- zur Erstun-
tersuchung bis zu 10 % (sowohl Zu- als auch Abnahmen) fachlich unbedeutend sind. Diese
Fehlerspanne ist im Regelfall allein analytisch nicht zu unterschreiten. Abweichungen zwi-
schen 10 und 30 % werden als Hinweis auf einen tendenziellen Unterschied gedeutet. Sind
die Abweichungen größer als 30 %, dann wird von einem deutlichen Hinweis auf Unter-
schiede zwischen der Zweit- und Erstuntersuchung ausgegangen.

3 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen

3.1 Status der Bodeneigenschaften der BDF

Die Ergebnisse der Erst- und Zweituntersuchungen sind im Anhang für jede BDF tabellarisch dokumentiert (Anhangkapitel 7.5). Nachfolgend werden die Ergebnisse standortübergreifend anhand ausgewählter Parameter beschrieben, um die Spannweite der Ergebnisse und grundlegende Tendenzen zu veranschaulichen.

Zu beachten ist, dass die standortübergreifenden Auswertungen nicht repräsentativ für die Bodeneigenschaften Nordrhein-Westfalens sind (vgl. Kap. 2.5 und 3.1.1).

3.1.1 Repräsentativität der BDF-Ergebnisse

BARTH et al. (2001) haben für die Auswahl von BDF-Standorte folgende Kriterien definiert:

- **Landschaftsrepräsentanz** – BDF in charakteristischen bzw. flächenhaft vorherrschenden Landschaften.
- **Bodenrepräsentanz** – BDF auf Böden, die für die Landschaften bezüglich Ausgangsmaterial, Bodenbildung, Bodenwasser- und Bodenstoffhaushalt usw. als typisch anzusehen sind.
- **Nutzungsrepräsentanz** – BDF unter charakteristischer oder vorherrschender Nutzung und/oder unter regionalspezifisch vorherrschender Sondernutzung.
- **Belastungsrepräsentanz** – BDF in
 - a. Gebieten mit geogenen Besonderheiten
 - b. Gebieten mit anthropogenen Belastungseinfluss
 - c. unbelasteten bzw. diffus ubiquitär belasteten Gebieten.
- **Einbindung in bestehende oder geplante (Überwachungs-) Messnetze** und ökologische Beobachtungsgebiete.
- **Langfristige Verfügbarkeit der BDF.**

Das entspricht nur in Teilen dem BDF-Programm Nordrhein-Westfalens. Wie in Kap. 1 dargelegt, verfolgt das BDF-Programm Nordrhein-Westfalens nicht das Ziel einer boden-, landschafts-, nutzungs- und belastungsrepräsentativen Erfassung des Bodenzustands. Insofern sind alle in diesem Bericht dargelegten BDF-Ergebnisse nicht repräsentativ für die Landschaften, Böden, Nutzungen und Belastungen in Nordrhein-Westfalen, sondern spiegeln die spezifischen Belastungssituationen (Bodenversauerung und Schwermetalldeposition) der untersuchten BDF wider.

3.1.2 Vergleichende Betrachtung der BDF- mit FIS StoBo-Daten

Beispielhaft werden die Bleigehalte der BDF-Standorte mit denen anderer Messstellen in der Umgebung der jeweiligen BDF-Standorte verglichen (vgl. Abb. 3–2 und Abb. 3–1). Dazu wurden vom LANUV die FIS StoBo-Datensätze aus einem 10x10km-Quadrat übermittelt; die BDF-Flächen liegen jeweils im Mittelpunkt der Raster. Die Bleigehalte der BDF-Standorte sind den Bleigehalten der FIS StoBo-Messstellen paarweise mit Hilfe von Box-Whisker-Plots gegenübergestellt. Fehlende Box-Whisker bedeuten, dass für diese Fälle keine Daten vorliegen.

Wald- und Grünland-Standorte sind getrennt dargestellt. Beim Wald wird noch zwischen der Humusauflage und dem Mineralboden bis 5 cm Bodentiefe differenziert.

Unabhängig von den Details der Unterschiede zwischen den BDF- und FIS StoBo-Ergebnissen wird deutlich, dass die beiden Datensätze regelhaft stark voneinander abweichende Bleigehalte aufweisen. An den Wald-BDF, bei denen von einer erhöhter Schwermetalldeposition ausgegangen werden kann, wie z. B. BOT, CAR, DUI Ma, DUI Wa und ESS Sü, sind die Bleigehalte im Mineralboden bis 5 cm Tiefe deutlich höher als die der umgebenden FIS StoBo-Messstellen. Gleiches gilt für die Parkwiese DUI Bi im Vergleich zu umgebenden Grünlandstandorten aus FIS StoBo. Umgekehrt sind die Bleigehalte im Mineralboden der FIS StoBo-Messstellen in der Umgebung von KLE Tb deutlich höher als die zugehörigen BDF-Werte.

Im Gegensatz zu den Mineralbodenproben mit Immissionsbelastungen weichen die Bleigehalte in der Humusauflage der BDF- und FIS StoBo-Standorte nicht deutlich voneinander ab. Die FIS StoBo-Bleigehalte sind ggf. deshalb zum Teil höher als die jeweils vergleichend dargestellten Bleigehalte der BDF-Standorte, weil im FIS StoBo auch noch ältere Messwerte enthalten sein können, die aus einer Zeit höherer Bleiimmissionen stammen. Auch können Probennahmeunterschiede als Ursache nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund haben die vergleichenden Auswertungen der BDF- und FIS-StoBo-Daten nur orientierenden Charakter.

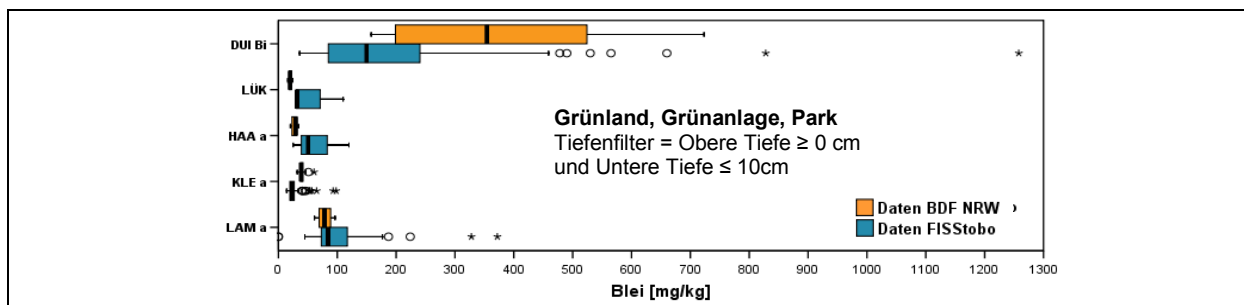


Abb. 3–1: Bleigehalte (Box-Whisker-Plots) – Grünland-BDF im Vergleich zu FIS StoBo-Grünlandmessstellen im 10x10km-Umfeld

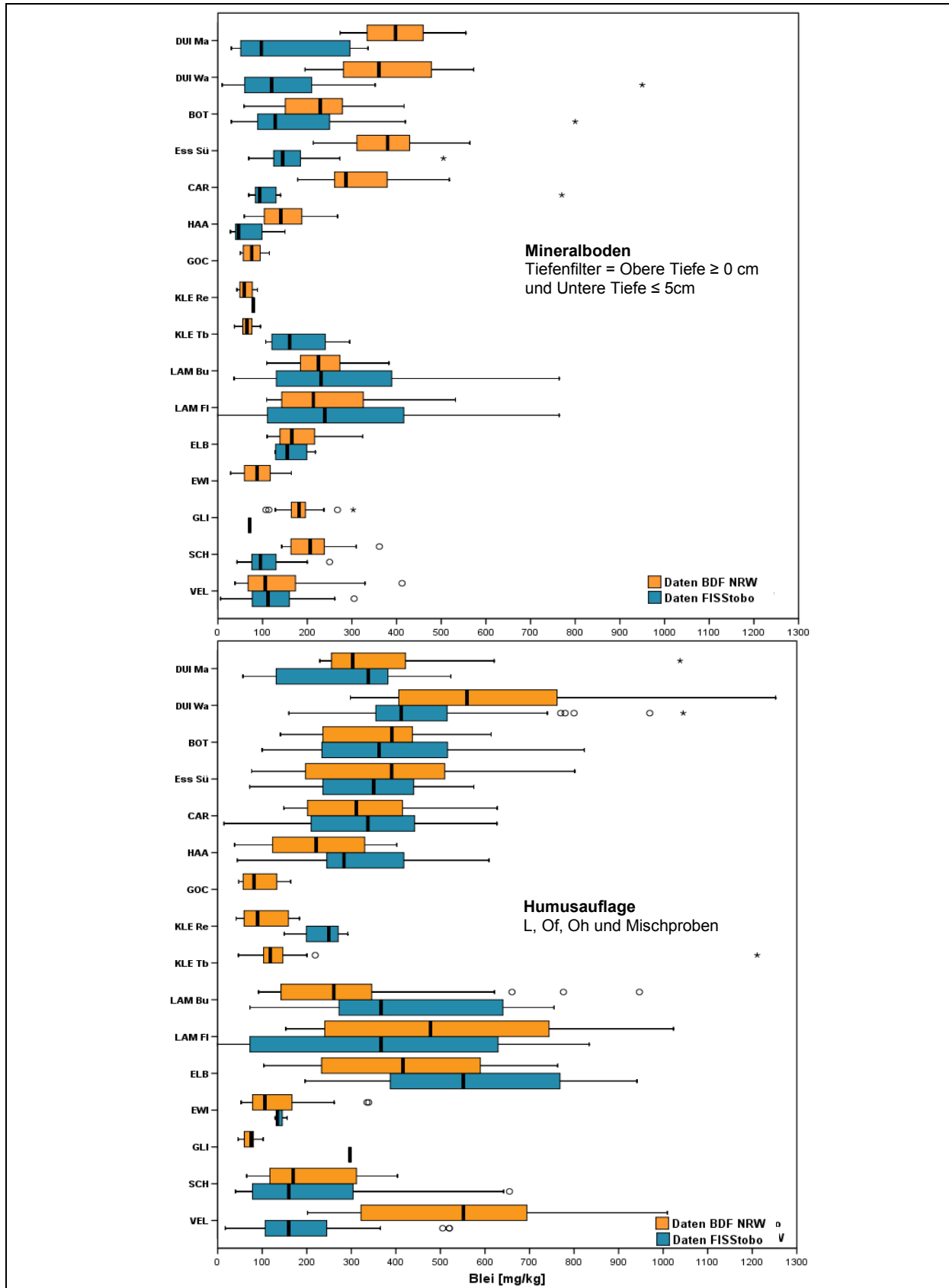


Abb. 3–2: Bleigehalte – Wald-BDF (Feldparallelen der Erst- und Zweituntersuchung; N = 12) im Vergleich zu FIS Stobo-Daten im 10x10km-Umfeld (N = uneinheitlich)

3.1.3 Streuung der Analyseergebnisse

Die Streuung der Analyseergebnisse wird in Tab. 3–1 mit Hilfe des Variationskoeffizienten abgebildet. In die Auswertung gingen exemplarisch für die gesamten Ergebnisse die Variationskoeffizienten für 10 anorganische Parameter ein. Die Variationskoeffizienten für As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, P und S (alle im KW-Extrakt) wurden elementübergreifend arithmetisch gemittelt (Mittelwert)⁴. Mit dieser Vorgehensweise kann den Fragen nachgegangen werden, ob zwischen den BDF oder zwischen den Tiefenstufen charakteristische Unterschiede in der Variation der Elementgehalte bestehen. Berücksichtigt wurden die Ergebnisse der Erst- und Zweituntersuchung für alle BDF und alle beprobten Tiefenstufen bis maximal 30 cm Tiefe.

Tab. 3–1: Mittlere Variationskoeffizienten [%] der Gehalte an anorganischen Elementen* der BDF differenziert nach Erst- und Zweituntersuchung

BDF	Erstuntersuchung						Zweituntersuchung					
	L/Of	Oh	Probenschicht				L/Of	Oh	Probenschicht			
			0-2 (0-5 ^a)	2-5	5-10	10-30			0-2 (0-5 ^a)	2-5	5-10	10-30
BOT	11	14	21	25	29	19	9	9	27	38	28	19
CAR	20	15	15	18	19	25	10	8	10	19	21	21
DUI Wa	15	17	24	16	33	30	20	11	12	25	27	21
DUI Ma	12	11	9 ^a	-	10	20	22 ^b	-	14	16	25	23
ELB	19	21	16	19	20	22	15	9	10	13	19	15
ESS Süd	17	22	22	19	16	13	17	13	18	24	29	24
EWI	13	22	19	17	25	32	10	16	34	33	30	12
GLI	18	-	30	18	28	26	19	-	16	20	26	19
GOC	12	16	14	19	20	18	-	-	-	-	-	-
HAA	23	23	39	31	45	36	19	16	18	32	39	14
KLE Re	11	14	11	16	13	8	37	24	28	33	27	17
KLE Tb	23	16	19	23	23	22	35	14	11	18	29	33
LAM Bu	17	21	17	20	24	22	9	12	17	23	23	14
LAM Fi	18	14	24	16	40	11	31	20	34	36	36	31
SCH	20	11	24	22	20	20	19	-	24	25	24	15
VEL	13	10	27	33	28	27	19	20	36	38	37	38
DUI Bi	28	-	19 ^a	-	18	10	10	-	22 ^a	-	20	19
LÜK	-	-	13 ^a	-	12	10	-	-	8 ^a	-	8	7
HAA a	-	-	23 ^a	-	19	19	-	-	-	-	-	-
KLE a	-	-	13 ^a	-	14	16	-	-	9 ^a	-	11	11
LAM a	-	-	34 ^a	-	15	30	-	-	12 ^a	-	12	29

* Erläuterungen:

- Der Variationskoeffizient wurde für jede BDF und beide Termine anhand der jeweils 6 Analysewerte der Feldparallelen ermittelt. Anschließend wurden die Variationskoeffizienten für die maximal 10 anorganischen Parameter As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, P und S (alle im KW-Extrakt) elementübergreifend gemittelt (arithmetischer Mittelwert).
- ^a An einigen Standorten fehlen Analyseergebnisse für Hg, As und/oder S. An der BDF KLE Re wurde bei der Erstbeprobung nur der Parameter Phosphor bestimmt und keine Metalle.
- ^b Auflage-Mischprobe L/Of+Oh

⁴ Einzelergebnisse für jede BDF siehe Anhangkapitel 7.5.

Die Auswertungen machen deutlich, dass weder zwischen den BDF noch zwischen den Beprobungsterminen bedeutsame Unterschiede in der Variation der Analysewerte nachgewiesen werden können. Auch zwischen den einzelnen Tiefenstufen lässt sich keine Differenzierung der Variation der Elementgehalte erkennen. Insofern kann unterstellt werden, dass die Ergebnisse für die einzelnen Tiefenstufen eines Termins nicht durch unsystematische Fehler in der Durchführung der Beprobung oder Analytik beeinflusst sind.

3.1.4 Flächenheterogenitäten

Die BDF-Flächen können kleinflächige Heterogenitäten aufweisen. Insbesondere Waldböden sind häufig durch kleinräumige Variabilitäten geprägt, die sich in wechselnden Mächtigkeiten der Humusauflagen und mitunter auch in unterschiedlichen Humusformen widerspiegeln. Damit einhergehend können auch die Mächtigkeiten und Ausprägungen der oberen humosen Bodenschichten und in Folge die Schwermetalle, die bevorzugt an organische Substanz und Ton-Humus-Komplexe gebunden werden, stark variieren.

Beispielhaft verdeutlicht Abb. 3–3 mit Hilfe der Bleigehalte der Tiefenstufe 0-2 cm der Erst- und Zweituntersuchung an ausgewählten BDF, wie stark die Einzelwerte der Feldparallelen voneinander abweichen können. Zum Beispiel treten auf der Untersuchungsfläche KLE Tb nur geringe absolute Unterschiede zwischen den Feldparallelen eines Beprobungstermins und auch zwischen den beiden Terminen auf. Gemessen am Variationskoeffizienten (vgl. Abb. 3–4), der unabhängig vom Messwertniveau deren Variation charakterisiert, streuen auch die Bleigehalte der Erst- und Zweituntersuchung der beiden BDF DUI Wa und ELB auf vergleichbar niedrigem Niveau wie bei der BDF KLE Tb, wenngleich die absoluten Gehaltsunterschiede für einen Messtermin größer sind.

Besonders deutlich treten Unterschiede bei VEL auf. Dort schwanken die Bleigehalte bei der Erstbeprobung in der obersten Tiefenstufe von 0-2 cm zwischen ca. 170 und 410 mg/kg, bei der Zweitbeprobung zwischen ca. 70 und 170 mg/kg. Diese hohe Wertespanne der Bleigehalte innerhalb eines Messtermins drückt sich – gleichermaßen für die Tiefenstufe 2-5 cm – in deutlich höheren Variationskoeffizienten bis über 50% aus (Abb. 3–3, Abb. 3–4).



Abb. 3–3: Bleigehalte (oben) und C_{org}-Gehalte (unten) in 0-2 cm Bodentiefe der Feldparallelen der Erst- und Zweituntersuchung* an vier ausgesuchten BDF
 (* Zweituntersuchung schraffiert)

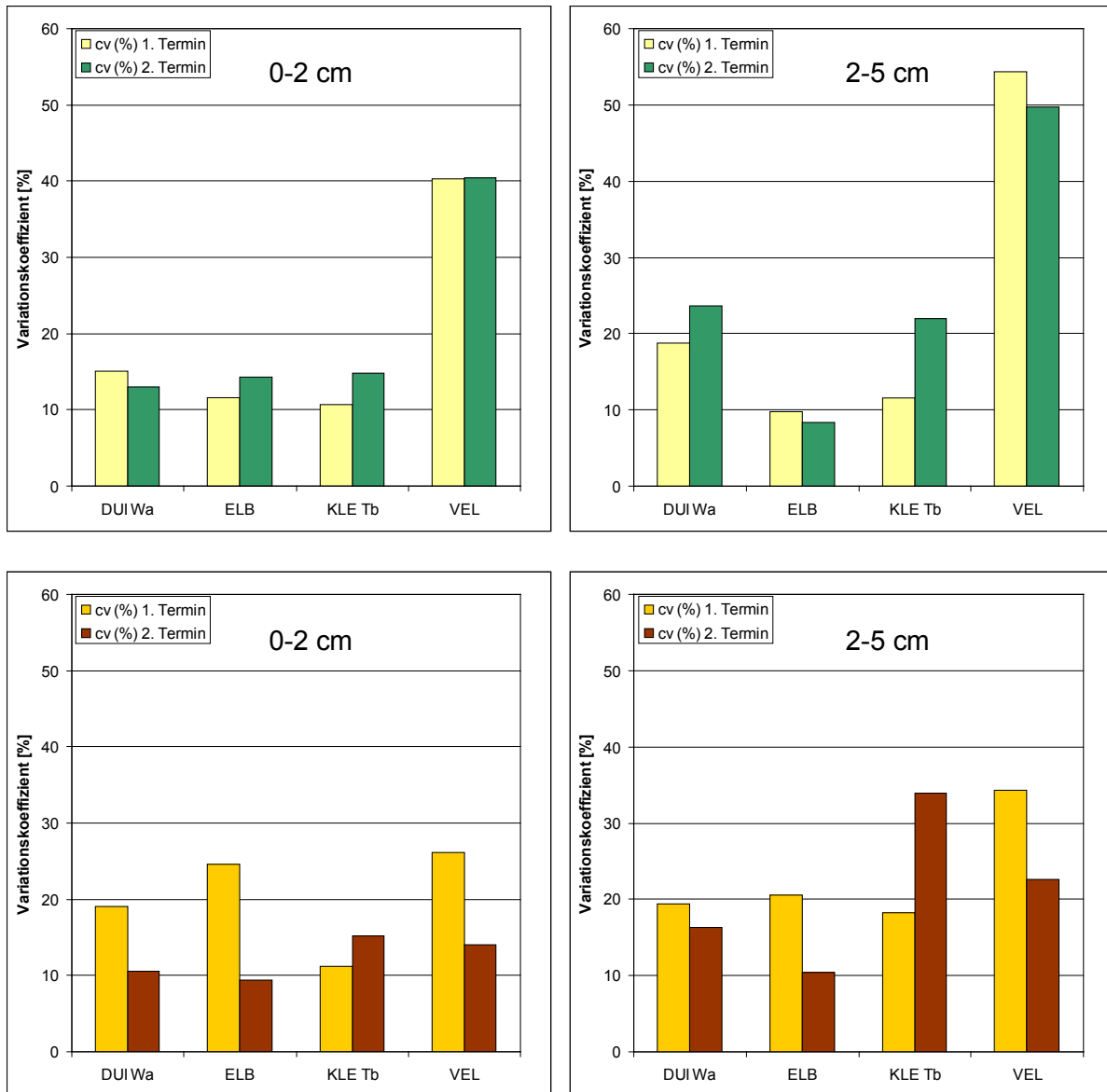


Abb. 3–4: Variationskoeffizienten [%] der Bleigehalte (oben) und der C_{org}-Gehalte (unten) der Tiefenstufen 0-2 cm und 2-5 cm an ausgewählten BDF

Die abweichenden Bleigehalte der Erst- und Zweituntersuchung sind wahrscheinlich auf die besonderen Standortbedingungen von VEL zurückzuführen, die eine zweifelsfreie Trennung zwischen Auflagehorizont und oberer Mineralbodenprobe erschwerte⁵. Es ist davon auszugehen, dass bei der Erstbeprobung die Grenze zwischen Auflage und oberer Mineralbodenprobe weiter oben gezogen wurde, so dass die Probenschicht 0-2 cm regelhaft höhere Humusgehalte als bei der Zweitbeprobung aufwies. Die Folge dieses Probenahmeunterschieds

⁵ Unter anderem bei der BDF VEL ist die Abgrenzung der organischen Auflage von den oberen Mineralbodenzentimetern nicht unproblematisch. Zitat aus GD-Bericht 2005: „Teilweise ergaben sich bei sehr hohem Stein- und Grusgehalt Abgrenzungsschwierigkeiten zwischen einem skeletthaltigen Oh-Horizont und einem Ahe-Horizont mit starker Humuseinwaschung (analog Skeletthumusböden). Hier wurde nach bestem Wissen und Gewissen entschieden.“

ist, dass auch die Elementgehalte zwischen den beiden Terminen differieren. So können die Unterschiede in den Bleigehalten der Feldparallelen in Verbindung mit den C_{org} -Gehalten gebracht werden; die Blei- und C_{org} -Gehalte der Feldparallelen korrelieren hoch signifikant (Abb. 3–5).

Neben diesem Probenahmeinfluss ist bei VEL auch eine räumlich gerichteter Unterschied der Blei- und C_{org} -Gehalte bei beiden Terminen zu erkennen; von der Feldparallele PA bis hin zu PF sind generell abnehmende Gehalte zu erkennen (Abb. 3–3). Letzteres deutet auf eine hohe standörtliche Variabilität der Bodeneigenschaften auf der BDF VEL hin.

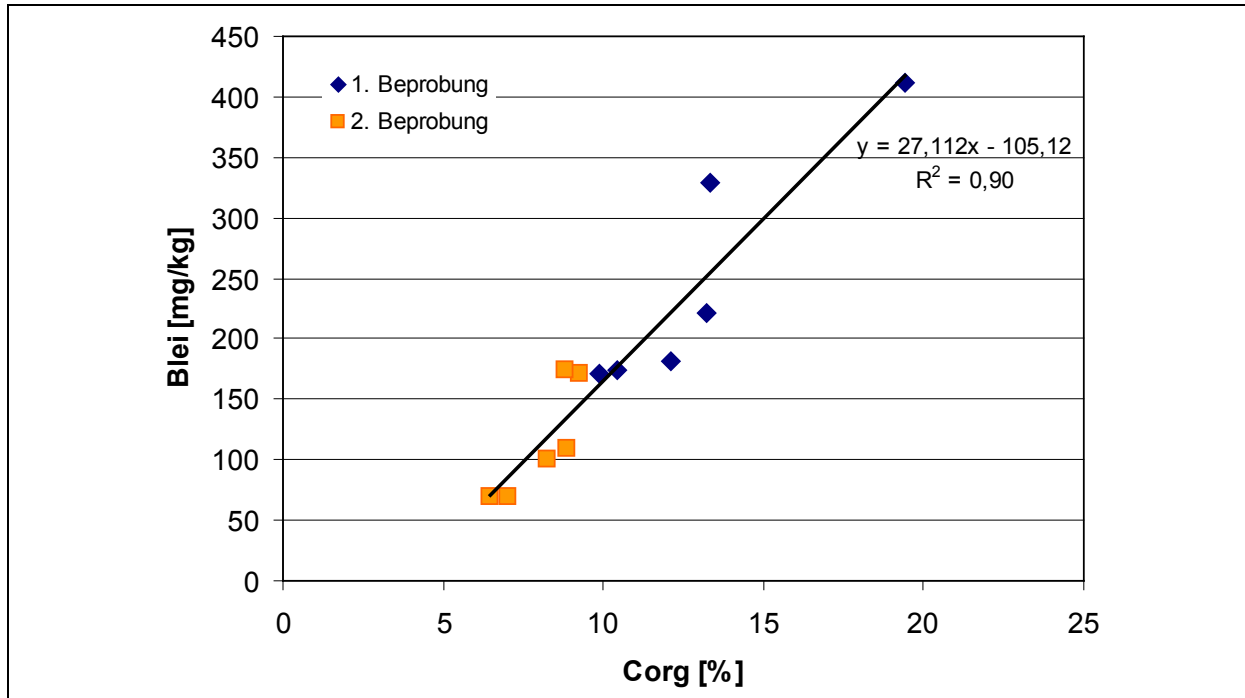


Abb. 3–5: Regression zwischen C_{org} - und Bleigehalten in der Bodentiefe 0-2 cm der BDF VEL

3.1.5 Standortübergreifende Auswertung der Wald-BDF

Der Bodenzustand der BDF auf Waldstandorten wird exemplarisch mit Hilfe der Ergebnisse zum pH-Wert, zur Basensättigung sowie zum C_{org} - und Bleigehalt beschrieben (Abb. 3–6). In die Darstellung der Messwerteverteilung fließen die Parameterdatensätze von jeweils sechs Feldparallelen für die Erst- und Zweitbeprobung der Standorte zusammen. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Darstellungen keine Tendenzen hinsichtlich der Bodenentwicklung verdeutlichen, sondern vielmehr den bodenchemischen Zustand der Waldstandorte charakterisieren sollen. Insofern bilden die Messergebnisse beider Beprobungstermine eine verbesserte Datengrundlage für die Beurteilung des Waldbodenzustands.

Anhand der pH-Wert-Grafik in Abb. 3–6 wird deutlich, dass die Waldböden bis 30 cm Tiefe überwiegend im sehr stark bis extrem sauren Bereich liegen. Somit dominiert in diesen Tiefenstufen der Al/Fe-Pufferbereich ($3,8 \geq \text{pH} > 3,2$) bzw. der Fe-Pufferbereich ($\text{pH} < 3,2$). In der Tiefenstufe 10-30 cm weisen immerhin noch etwa 65 % der Proben pH-Werte unterhalb von pH 3,8 auf. Erst unterhalb von 30 cm Tiefe treten im bedeutenden Umfang pH-Werte zwischen pH 4 und 4,2 auf, so dass dort der Al-Pufferbereich wirksam ist. Auf einzelnen BDF ist das bodenchemische Milieu durch den Austauscherpufferbereich – zum Teil gar durch den Silikat- und Carbonatpufferbereich – geprägt (vgl. Kap. 3.4 zur Versauerung).

Die Basensättigung nimmt bis in eine Tiefe von 30 cm kontinuierlich ab (Abb. 3–6). Damit wirkt sich die geringfügige Zunahme des pH-Wertes bis in diese Tiefenstufe nicht positiv auf die Basensättigung aus. Offensichtlich wird die Basensättigung stärker durch die Entwicklung des C_{org} -Gehaltes geprägt, der bis 30 cm Tiefe stetig abnimmt. Von vergleichbaren Ergebnissen berichten auch Raben et al. (2004) anhand der sächsischen BZE-Ergebnisse. Die höheren C_{org} - bzw. Humusgehalte in den oberen Bodenschichten bewirken auf Grund des selektiven Bindungsvermögens der organischen Substanz für Calcium-Ionen eine höhere Basensättigung im Vergleich zu den tieferen Bodenschichten. Weiterhin werden basische Kationen auch auf natürlichem Wege in den obersten Schichten durch den Streueintrag angereichert. An einigen Standorten ist zudem ein Kalkungseinfluss zu berücksichtigen; so erfolgten z. B. auf den Flächen DUI Wa und CAR unabgesprochene Kalkungsmaßnahmen. Nichtsdestotrotz liegen bereits bei rund 50 % der Proben aus der Bodentiefe 2-5 cm die Basensättigungen unterhalb des kritischen Wertes von 15 %, so dass mit einem deutlichen Anstieg der pflanzentoxischen Al-Ionen in der Bodenlösung zu rechnen ist. Der Anteil der Bodenproben, die eine Basensättigung unterhalb des kritischen Wertes von 15 % aufweisen, steigt bis in eine Bodentiefe von 30 cm an. Erst unterhalb von 30 cm Bodentiefe steigt die Basensättigung wieder an und erreicht maximal 100 % (vgl. Kap. 3.4 zur Versauerung).

Die Bleigehalte nehmen kontinuierlich mit zunehmender Bodentiefe ab. Hierin drückt sich zum einen die positive Korrelation der Bleigehalte zum Gehalt an organischer Substanz aus. Zum anderen bewirken die atmogenen Pb-Einträge höhere Gehalte in den oberen Bodenschichten, weil das Pb kaum mit dem Sickerwasser verlagert wird und sich oberflächennah anreichert. Die für Blei aufgezeigte Schadstoffsituation ist auf alle vergleichbar immobilen Schadstoffe mit bedeutenden – zum Teil historischen – atmogenen Einträgen übertragbar. Bei mobileren Schadstoffen wie dem Cadmium sind Auswaschungstendenzen aus den oberen Tiefenstufen erkennbar (vgl. Kap. 3.3 u. 3.4).

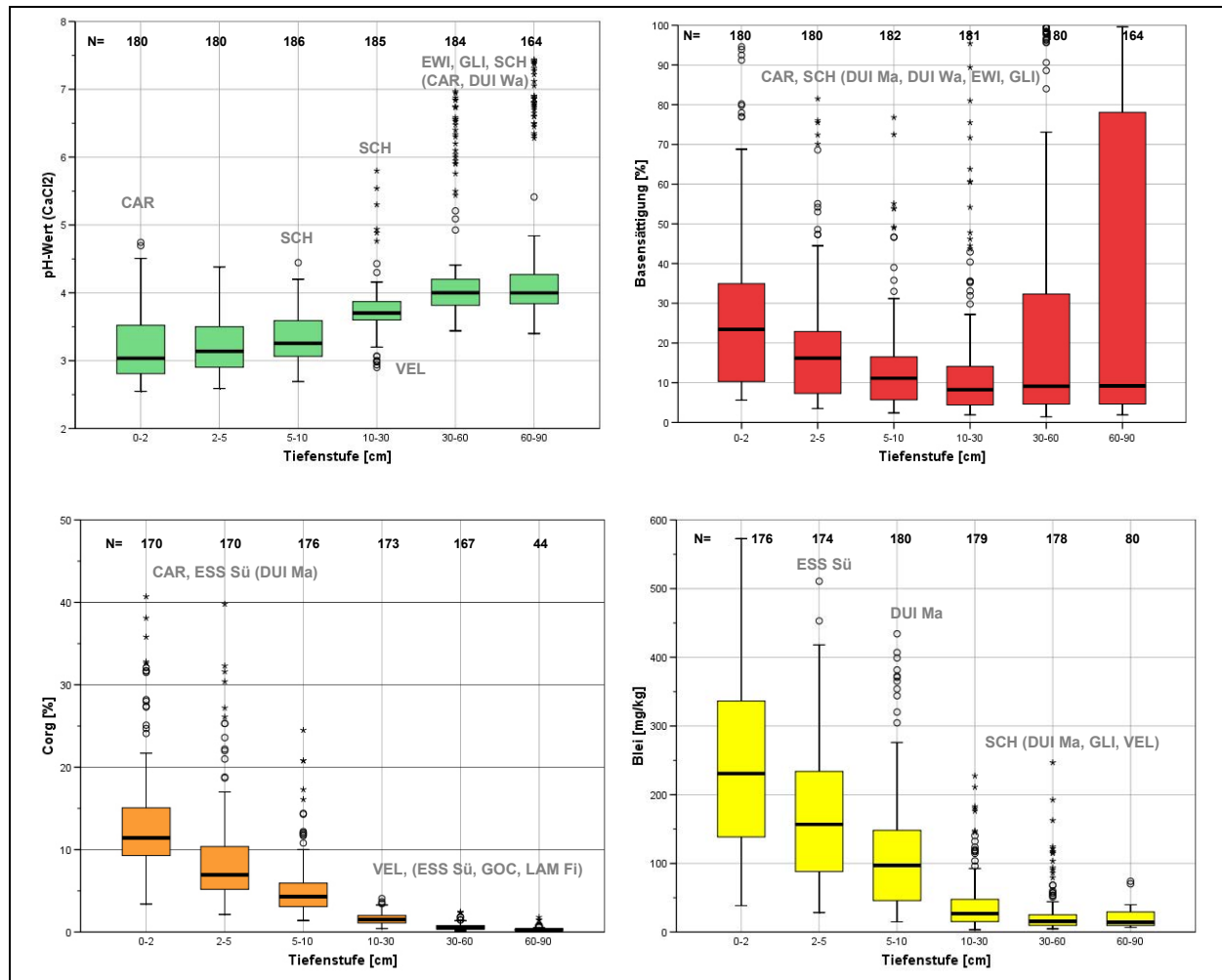


Abb. 3–6: Spannweiten und statistische Kennwerte für pH, Basensättigung, Pb- und C_{org}-Gehalte des Mineralbodens der Wald-BDF differenziert nach den beprobten Tiefenstufen (Die BDF-Kürzel – zum Teil schichtübergreifend – verdeutlichen, an welchen BDF Ausreißer und/oder Extremwerte auftreten: Die BDF, an denen nur im geringem Umfang Ausreißer auftreten, sind in Klammern gesetzt.).

Am Beispiel der C_{org}-Gehalte wird auch deutlich, dass die Ergebnisse zum Teil nicht mit den bodenkundlich üblichen Klasseneinteilungen übereinstimmen. So werden in den oberen Tiefenstufen der BDF vereinzelt C_{org}-Gehalte von über 20 % bis maximal über 40 % ermittelt (siehe Ausreißer und Extremwerte in Abb. 3–6). Nach KA5 (AG Boden 2005) liegen ab 30 % Humusgehalt (entspricht ungefähr 17,4 % C_{org}, Umrechnungsfaktor 1,72 von C_{org} nach Humus) definitionsgemäß organische Horizonte (Humusaufgaben oder Torfe) vor. Das in den Bodenkartierungen und bei den Beprobungen als Mineralboden angesprochene Material in diesen Tiefenstufen dürfte insofern keine derart hohen C_{org}-Gehalte aufweisen. Wahrscheinlich umfassen die ermittelten sehr hohen C_{org}-Gehalte nicht nur den organischen C-Anteil, sondern noch andere C-Fractionen. So treten die Ausreißer und Extremwerte überwiegend auf der BDF ESS Sü auf, vereinzelt auch auf der BDF CAR. An diesen BDF-Standorten könnten eingelagerte Kohlestaubpartikel die stark erhöhten (vermeintlichen) C_{org}-Gehalte hervorrufen. Nach den Berichten des Geologischen Dienstes, die im Rahmen der bodenkun-

dlichen Feinkartierung zu den einzelnen Flächen erstellt wurden, ist davon auszugehen, dass in beiden Fällen – insbesondere in ESS Sü – ein großer Anteil von elementarem Kohlenstoff vorhanden ist.

3.2 Unterschiede der Bodeneigenschaften zwischen Erst- und Zweitbeprobung

3.2.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Die Ergebnisse der deskriptiven statistischen Analyse sind in Tab. 3–2 exemplarisch für Blei und C_{org} für ausgewählte BDF aufgeführt. Dazu werden in tabellarischer Form die Minimal- und Maximalwerte, die arithmetischen Mittelwerte, die qualitativen Änderungen zwischen den beiden Terminen (vgl. Kap. 2.5.4 und 3.2.4) sowie die Variationskoeffizienten der Ergebnisse der beiden Termine angegeben.

Die ausführliche Dokumentation der Kennzahlen für weitere Parameter und alle BDF ist den Anhangtabellen in Kap. 7.5 zu entnehmen.

Generell lässt sich festhalten, dass die Blei- und C_{org} -Gehalte in den Tiefenstufen bis 30 cm kontinuierlich abnehmen. Darüber hinaus sind die Minimal- und Maximalwerte sowie die arithmetischen Mittelwerte der Zweitbeprobung bei einigen Tiefenstufen niedriger als bei der Erstbeprobung. Diese Änderungen sind auch anhand der Klassifizierung der qualitativen Unterschiede zwischen den Terminen erkenntlich. Dagegen nehmen die C_{org} -Gehalte bis 30 cm Tiefe im geringeren Umfang ab. Stattdessen treten bei den ausgewählten BDF vermehrt höhere C_{org} -Gehalte bei der Zweitbeprobung auf. Bedeutsam ist weiterhin, dass zwischen den Terminen und zwischen den Tiefenstufen keine gerichtete Veränderung der Variation der Messergebnisse erkennbar ist; die Variationskoeffizienten schwanken im vergleichsweise geringen Umfang.

Tab. 3-2: Kennwerte der Pb- und C_{org}-Gehalte ausgewählter BDF für Mineralbodenproben bis 30 cm mit qualitativer Klassifizierung der Unterschiede zwischen den beiden Probenentnahmen

BDF	Schicht	Erstbeprobung			Zweitbeprobung			Unterschied Termine*	Erstbeprobung	Zweitbeprobung
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX		Variationskoeffizient (cv) in %	
		Blei [mg/kg]			Blei [mg/kg]				Variationskoeffizient (cv) in %	
DUI Wa	0-2	368	491	573	354	456	525	o	15	13
	2-5	200	272	332	195	274	371	o	19	24
	5-10	80	132	166	81	127	168	o	24	26
	10-30	22	32	46	20	28	35	-	30	20
ELB	0-2	234	284	324	134	164	199	--	12	14
	2-5	158	176	195	110	129	142	-	10	8
	5-10	137	147	158	95	109	124	-	5	11
	10-30	37	54	70	45	51	63	o	20	13
KLE Tb	0-2	61	76	86	61	76	95	o	11	15
	2-5	51	56	68	37	55	69	o	12	22
	5-10	31	37	46	25	35	44	o	14	24
	10-30	13	16	18	7	8	10	--	12	13
VEL	0-2	172	248	412	70	116	174	--	40	40
	2-5	59	110	224	38	67	113	--	54	50
	5-10	38	60	94	27	42	66	--	35	38
	10-30	32	40	52	19	43	91	o	22	65
		C _{org} [Masse-%]			C _{org} [Masse-%]				Variationskoeffizient (cv) in %	
DUI Wa	0-2	7,2	9,9	12,3	9,7	10,9	12,6	o	19	11
	2-5	4,1	5,8	6,9	5,6	6,6	8,6	+	19	16
	5-10	2,5	3,2	3,8	2,6	3,4	4,0	o	15	16
	10-30	1,2	1,5	1,9	1,1	1,4	1,8	-	18	18
ELB	0-2	4,6	8,3	10,0	5,2	6,1	6,9	-	25	9
	2-5	2,5	3,9	4,8	3,4	3,7	4,4	o	21	10
	5-10	1,4	2,8	3,5	2,6	2,8	3,5	o	28	13
	10-30	0,7	1,4	1,8	1,5	1,8	2,1	+	30	13
KLE Tb	0-2	6,3	7,8	8,6	7,1	9,2	11,4	+	11	15
	2-5	3,7	4,7	5,7	3,3	6,0	8,3	+	18	34
	5-10	2,4	2,8	3,1	2,1	3,2	4,3	+	10	29
	10-30	1,4	1,7	1,8	0,4	0,8	1,2	--	9	34
VEL	0-2	9,9	13,1	19,4	6,5	8,1	9,3	--	26	14
	2-5	4,0	6,4	10,5	4,0	5,1	7,0	-	34	23
	5-10	3,4	4,5	6,2	2,5	3,5	4,4	-	22	18
	10-30	2,3	2,7	3,7	1,0	2,7	3,5	o	19	38

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- und Zweitbeprobung $\leq |10\%$ = o gleich bleibendDifferenz der Mittelwerte der Erst- und Zweitbeprobung $> |10-30\%$ = +/- Zunahme/ AbnahmeDifferenz der Mittelwerte der Erst- und Zweitbeprobung $> |30\%$ = ++/-- deutliche Zunahme/ Abnahme

3.2.2 Grafischer Mittelwertvergleich

Die Ergebnisse der Erst- und Zweitbeprobungen werden in Abb. 3–7 anhand ausgewählter Bodenparameter für die Schicht 0-2 cm diskutiert.

Die mittleren pH-Werte der Tiefenstufe bis 2 cm Tiefe unterscheiden sich im Regelfall nur geringfügig zwischen Erst- und Zweitbeprobung. Auffällig ist der sehr große pH-Wert-Unterschied der beiden Termine am Standort CAR, der eine pH-Wert-Einheit ausmacht und auf eine Forstkalkung zurückzuführen ist.

Die tendenziellen Änderungen der exemplarisch aufgeführten Mittelwerte für As, Cd und Pb zeigen ein uneinheitliches Bild (Abb. 3–7). Während bei Arsen sich die Zu- und Abnahmen ungefähr die Waage halten, nehmen bei Cadmium und insbesondere bei Blei die Gehalte von der Erst- zur Zweitbeprobung mehrheitlich ab.

Auffällig sind die deutlich höheren Cd-Gehalte am Standort LAM Bu⁶. Im Gegensatz dazu sind die Bleigehalte der Zweitbeprobung an insgesamt sechs Standorten (DUI Ma, BOT, CAR, LAM Fi, ELB und VEL) niedriger. Diese augenfälligen Unterschiede vermitteln nicht den Eindruck einer zufälligen Veränderung. Mit Ausnahme von DUI Ma korrespondieren die niedrigeren Bleigehalte mit einer Abnahme der mittleren Corg-Gehalte.

⁶ Aus den Aufzeichnungen des GD zur Probennahme am Standort LAM Bu im Jahr 2007 geht hervor, dass die Abgrenzung des Oh-Horizontes zur mineralischen Tiefenstufe 0- 2 cm oftmals problematisch war aufgrund von Oberbodenstörungen in Folge von Windwurf, Mineralisierungsprozessen und sehr starker Durchfeuchtung. Weiterhin wurden vereinzelt Beimengungen von Schlacke zum Oh- und Ah-Horizont beobachtet. Angesichts dieser Störungen sind die Cd-Gehalte der Erst- und Zweituntersuchung nicht direkt miteinander vergleichbar.

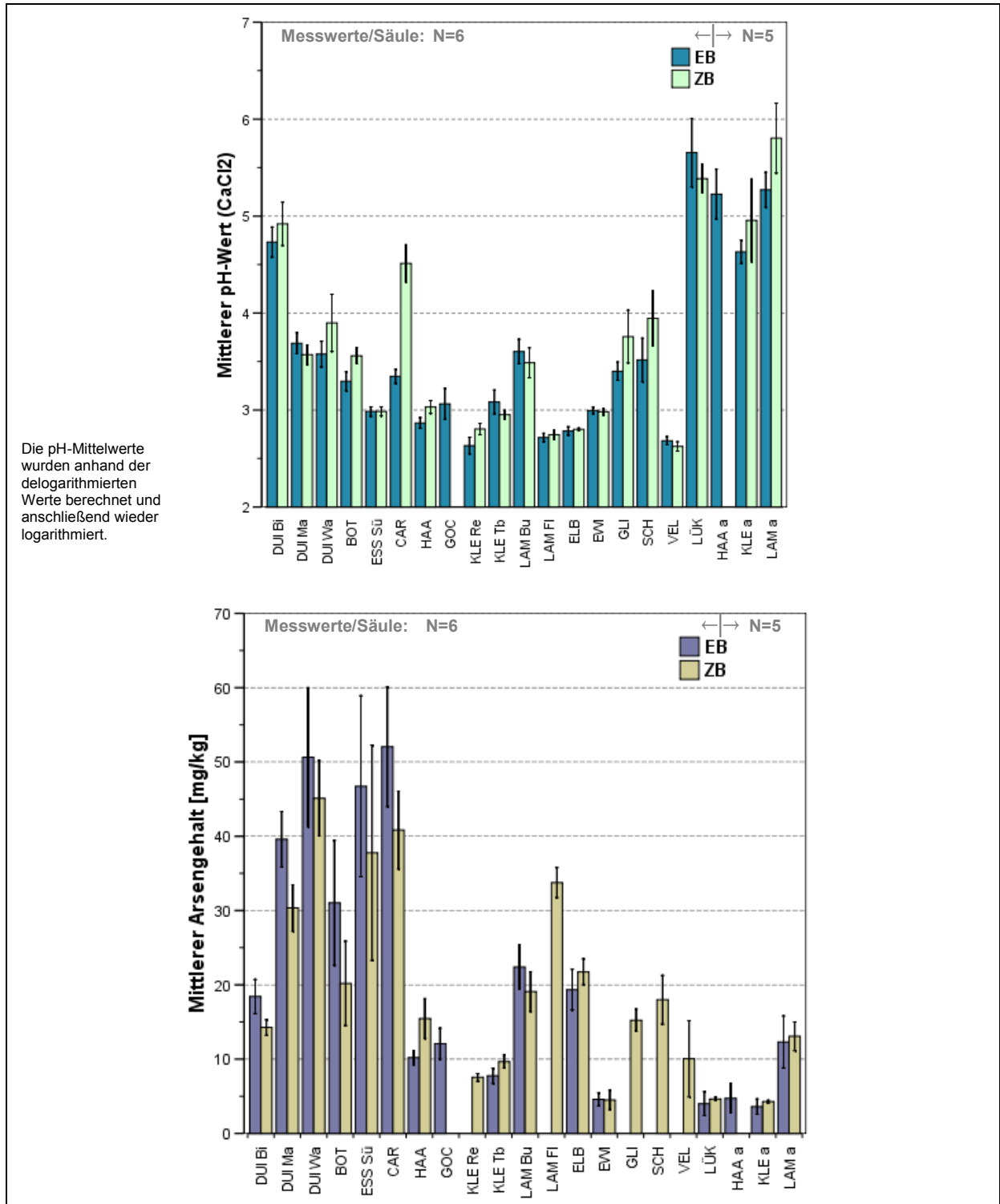


Abb. 3–7: Arithmetische Mittelwerte für pH, As, Cd und Pb der obersten Tiefenstufen in 0-2 bzw. 0-5 cm Tiefe der Erst- (EB) und Zweitbeprobung (ZB) mit 95%-Vertrauensbereich → Fortsetzung

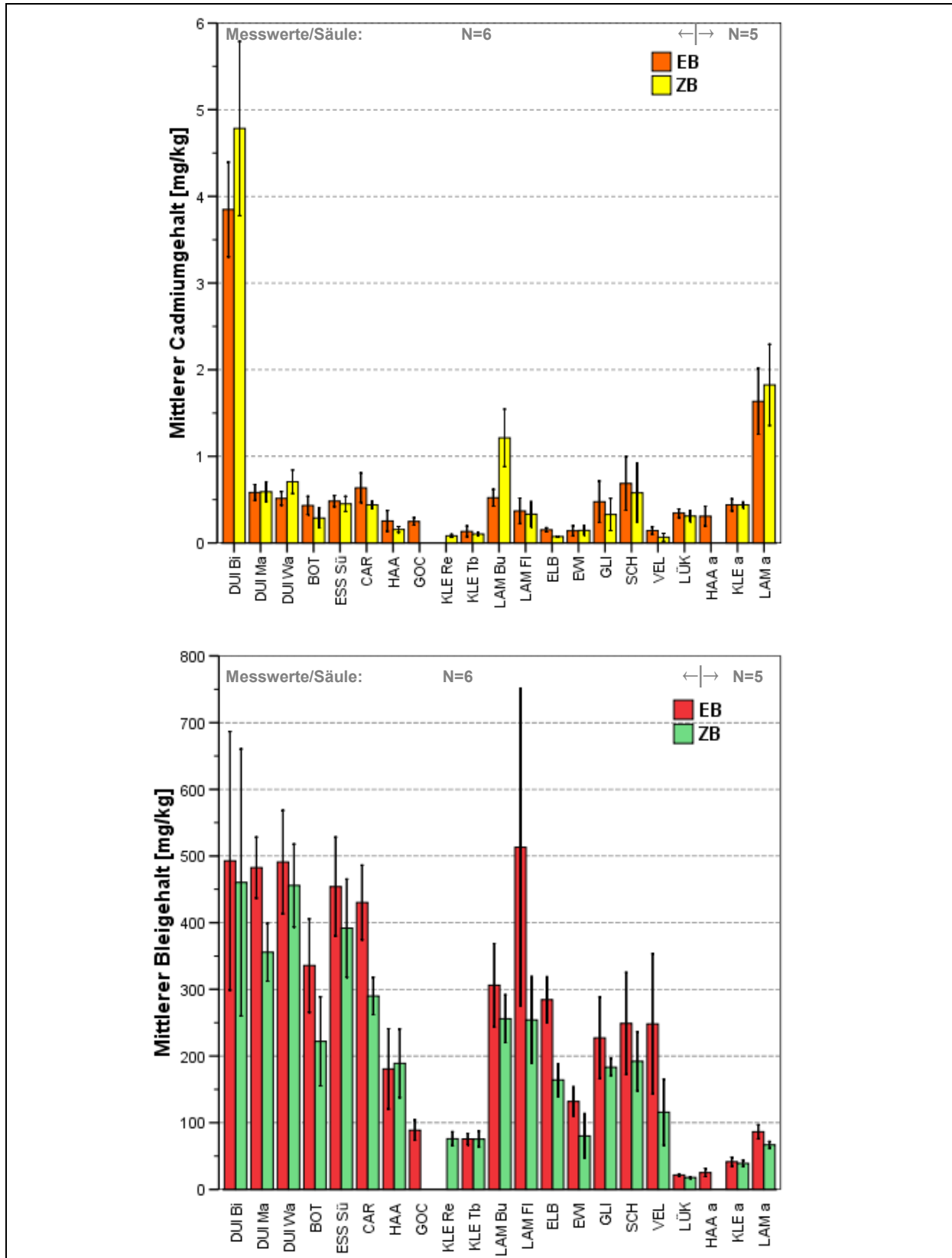


Abb. 3–7: Arithmetische Mittelwerte für pH, As, Cd und Pb der obersten Tiefenstufen in 0-2 bzw. 0-5 cm Tiefe der Erst- (EB) und Zweitbeprobung (ZB) mit 95%-Vertrauensbereich

3.2.3 Signifikanztest mit Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Im Rahmen der standortübergreifenden Auswertungen der BDF-Daten wurden statistische Tests ausgeführt, um der Frage nachzugehen, ob sich in der Gesamtheit der Messdaten signifikante Unterschiede der mittleren Gehalte zwischen Erst- und Zweitbeprobung ergeben.

Tab. 3–3: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für Arsen und Schwermetalle in der Tiefenstufe 0-2 cm der Wald-BDF

		Ränge			Statistik	
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Arsen	Negative Ränge	26	26,87	698,50	-2,043	0,041
	Positive Ränge	19	17,71	336,50		
	Bindungen	1				
	Gesamt	46				
Cadmium	Negative Ränge	49	35,37	1733,00	-2,352	0,019
	Positive Ränge	23	38,91	895,00		
	Bindungen	2				
	Gesamt	74				
Chrom	Negative Ränge	56	36,66	2053,00	-4,152	0,000
	Positive Ränge	16	35,94	575,00		
	Bindungen	6				
	Gesamt	78				
Kupfer	Negative Ränge	50	39,90	1995,00	-3,275	0,001
	Positive Ränge	24	32,50	780,00		
	Bindungen	4				
	Gesamt	78				
Nickel	Negative Ränge	61	38,55	2351,50	-5,512	0,000
	Positive Ränge	12	29,13	349,50		
	Bindungen	5				
	Gesamt	78				
Blei	Negative Ränge	57	42,34	2413,50	-5,844	0,000
	Positive Ränge	16	17,97	287,50		
	Bindungen	1				
	Gesamt	74				
Zink	Negative Ränge	59	41,20	2431,00	-4,720	0,000
	Positive Ränge	18	31,78	572,00		
	Bindungen	1				
	Gesamt	78				

Anmerkungen:

N = Anzahl der Paardifferenzen. Von den insgesamt 16 untersuchten Wald-BDF liegen nur für 13 BDF Messergebnisse der Erst- und Zweituntersuchung für die Tiefenstufe 0-2 cm vor. Nicht berücksichtigt wurden GOC, Dui Ma und KLE Re; für GOC ist die Zweituntersuchung erst in 2013 geplant, für Dui Ma weichen die Tiefengrenzen zwischen Erst- und Zweituntersuchung voneinander ab und für KLE Re liegen für die Erstbeprobung keine Analyseergebnisse für Arsen und Schwermetalle vor. Bei verbleibenden 13 BDF mit jeweils 6 Feldparallelen können somit maximal 78 Paardifferenzen in die Auswertung einbezogen werden. Kleinere Stichprobenumfänge beruhen auf fehlende Ergebnisse für die Erst- und/oder Zweituntersuchung.

Bindungen = Paardifferenz gleich null

Der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen (vgl. Kap. 2.5.3) wurde zunächst standortübergreifend für die Arsen- und Schwermetallgehalte der obersten Tiefenstufen an den Wald-BDF durchgeführt. SPSS gibt für die untersuchten Parameter Irrtumswahrscheinlichkeiten (p-Werte) kleiner 0,05 aus (Tab. 3–3). Bei der Betrachtung des Gesamtdatensatzes für Arsen und Schwermetalle kann demnach davon ausgegangen werden, dass sich die Messwerte der Erst- und Zweitbeprobung im Durchschnitt aller Wald-BDF signifikant unterscheiden. Diese signifikant niedrigeren Werte der anorganischen Schadstoffgehalte erscheint angesichts des bereits in den 1990er Jahren beginnenden Rückgangs der Depositionsraten (SCHULTE 1996a und b; vgl. auch LANUV-Umweltindikator „Luftqualität – Schwermetalleintrag an ländlichen Stationen“⁷) plausibel.

Die Anwendung des Wilcoxon-Testverfahrens für die einzelnen BDF zeigt ein differenziertes Bild. In Tab. 3–4 sind die mit Hilfe des Wilcoxon-Tests ermittelten Irrtumswahrscheinlichkeiten beispielhaft für Arsen, Cadmium und Blei aufgeführt. Es wird deutlich, dass zum einen die Veränderungen der Elementgehalte zwischen Erst- und Zweitbeprobung der einzelnen BDF nicht mehr generell statistisch signifikant unterschiedlich sind. Diese häufig fehlende Signifikanz wird insbesondere auf den geringeren Stichprobenumfang zurückzuführen sein. So liegen dem standortübergreifenden Wilcoxon-Test für Wald-BDF bis zu 78 Paardifferenzen zugrunde, wohingegen bei dem Test für die einzelnen BDF lediglich sechs Paardifferenzen einfließen können.

Tab. 3–4: Irrtumswahrscheinlichkeiten für die Paardifferenzen nach Wilcoxon-Test für As, Cd und Pb in der Tiefenstufe 0-2 cm aller BDF*

BDF-Standorte*	Arsen	Cadmium	Blei
DUI Bi	0,046	0,249	0,917
DUI Wa	0,144	0,075	0,600
BOT	0,068	0,046	0,028
ESS Sü	0,068	0,527	0,249
CAR	0,028	0,027	0,028
HAA	0,027	0,075	0,463
KLE Tb	0,068	0,273	0,893
LAM Bu	0,173	0,028	0,075
LAM FI	/	0,180	0,180
ELB	0,116	0,026	0,028
EWI	0,893	0,917	0,075
GLI	/	0,116	0,116
LÜK	0,345	0,248	0,026
SCH	/	0,249	0,028
VEL	/	0,027	0,028
KLE a	0,141	1,000	0,500
LAM a	0,893	0,686	0,043

Anmerkungen:

Signifikanzwerte < 0,05 → signifikante Unterschiede zwischen Zweit- und Erstuntersuchung (Fettschrift).

/ fehlende Messwerte

* Hier inklusive der BDF außerhalb des Waldes. Keine Paardifferenzen liegen vor für DUI Ma, GOC, HAAa und KLE Re (Gründe: fehlende Messwerte, ausstehende Zweituntersuchung oder abweichende Beprobungstiefen zwischen Erst- und Zweituntersuchung).

⁷ <http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php?indikator=19&mode=indi&aufzu=1>

Über die exemplarisch aufgeführten statistischen Tests für Arsen und Schwermetalle hinaus wurden keine weiteren Signifikanztests durchgeführt. Dies begründet sich unter anderem in der Erwartung, dass Veränderungen bodenchemischer Parameter innerhalb einer Zeitspanne von 10 Jahren häufig noch nicht statistisch signifikant nachweisbar sind, weil derartige signifikante Veränderungen im Regelfall nur in langen Zeiträumen auftreten. Zu diesem Schluss kommen grundsätzlich auch die BDF-Programme anderer Bundesländer. Dieses Erkenntnis war Gegenstand der Diskussion auf der Tagung „20 Jahre Bodendauerbeobachtung“ am 5. und 6. Dezember 2011 in Hannover⁸. Selbst nach 20 Jahre währenden Untersuchungsprogrammen sind viele beobachtete Veränderungen der Messwerte noch nicht signifikant nachweisbar.

Insofern reicht die erste Wiederholungsuntersuchung in Nordrhein-Westfalen nicht aus, um alle beobachteten Zustandsveränderungen statistisch abgesichert nachvollziehen zu können. Jedoch lassen sich zum Teil tendenzielle Unterschiede zwischen der Erst- und Zweituntersuchung erkennen, auf die bei der Ergebnisdarstellung eingegangen wird.

3.2.4 Qualitativer Vergleich der Ergebnisse der Wald-BDF

Entsprechend der in Kap. 2.5.4 beschriebenen Klassifikation führt Tab. 3–5 für ausgewählte Parameter der Tiefenstufen 0-2 cm und 2-5 cm auf Grundlage der flächenspezifischen gemittelten Werte der Wald-BDF die beobachteten Zu- oder Abnahmen der Messergebnisse der Zweit- im Vergleich zur Erstuntersuchung auf. Fehlen für den Vergleich Messwerte der Erst- oder Zweituntersuchung, so sind diese Fälle in der Spalte „kein Vergleich“ ausgewiesen. Weitere Ergebnisse für andere Tiefenstufen sind im Anhangkapitel 7.3 dokumentiert.

In den Vergleich sind die Parameter pH-Wert und Basensättigung, die basischen und sauren Kationen, Arsen und Schwermetalle sowie Humuskennwerte einbezogen. Für jeden Parameter werden die Anzahlen der Zu- und Abnahmen einzeln aufgeführt. Darüber hinaus sind nach fachlichen Kriterien Parametergruppen gebildet worden, für die parameterübergreifend die Anzahlen der Zu- bzw. Abnahmen aufsummiert sind. Somit lassen sich für die Parametergruppen anhand einer größeren Grundgesamtheit tendenzielle Unterschiede besser erkennen als wenn jeweils nur die Messergebnisse einzelner Parameter verglichen werden.

Bei den pH-Werten überwiegen die Proben mit höheren pH-Werten der Zweit- im Vergleich zur Erstbeprobung. Vier pH-Mittelwerte der Zweitbeprobung sind mehr als 10 % höher als die der Erstbeprobung, an 10 Standorten sind keine Veränderungen zu beobachten und an keiner BDF trat eine Abnahme des pH-Wertes auf (Tab. 3-5). Damit stimmt das Ergebnis mit der grafischen Auswertung der Mittelwerte nach Kap. 3.2.2 überein. Je Einzelparameter, der in diesen Vergleich aufgenommen wurde, sind entsprechend der 14 Wald-BDF mit Erst- und Zweituntersuchungsergebnissen aus den Tiefenstufen 0-2 und 2-5 cm maximal 14 Vergleiche möglich. Aus diesem Grund beträgt die Quersumme der Spalten „Zu- und Abnahmen“, „gleich“ und „kein Vergleich“ jeweils 14.

⁸ Die Folien der Referenten können unter folgendem Link heruntergeladen werden:
http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=27762&article_id=99022&psmand=4

Tab. 3–5 führt auch die tendenziellen Unterschiede der basischen und sauren Kationengehalte der beiden Beprobungstermine auf. Bei beiden Kationengruppen überwiegen die Abnahmen, jedoch sinken die Gehalte der sauren Kationen etwas stärker ab als die der basischen Kationen. Gleichzeitig sind bei den basischen Kationen in sechs Fällen steigende Gehalte zwischen 10 % und 30 % sowie in 14 Fällen steigende Gehalte über 30 % zu beobachten (vgl. auch Auswertungen zur Kationenaustauscherbelegung in Kap. 3.4).

Die tendenziellen Unterschiede für Arsen und Schwermetalle bestätigen die Ergebnisse des grafischen Vergleichs (Kap. 3.2.1) und des Signifikanztests (Kap. 3.2.3). In der Tiefenstufe 0-2 cm überwiegen mit insgesamt 59 Abnahmen im Vergleich zu lediglich acht Zunahmen deutlich die Abnahmen. Vergleichbare Ergebnisse liegen auch für die Tiefenstufe 2-5 cm vor. Besonders deutliche niedrigere Werte im Vergleich zur Erstbeprobung treten in den beiden Tiefenstufen bis 5 cm bei Cadmium, Nickel, Blei und Zink auf. Auch für die anderen Tiefenstufen werden tendenziell niedrigere Werte ermittelt, wenngleich ab 10 cm Bodentiefe das Ergebnis nicht mehr ganz so einheitlich ausfällt, weil auch – zwar im geringeren Umfang – mehr höhere Werte zu verzeichnen sind (siehe Anhangkap. 7.3). Hierin könnte sich eine Verlagerung der Elemente aus den Auflagehorizonten und den Tiefenstufen bis 10 cm in darunter liegende Tiefenstufen widerspiegeln.

Bei den C_{org} -Werten der Erst- und Zweitbeprobung lässt sich kein eindeutiges Bild hinsichtlich möglicher Unterschiede ablesen; hier halten sich Ab- und Zunahmen ungefähr die Waage. Hingegen liegen die N_T -Gehalte der Zweitbeprobung überwiegend unterhalb der Erstbeprobung (vgl. auch Kap. 4.4.2).

Tab. 3–5: Qualitativer Vergleich der Mittelwerte ausgewählter Parameter der Zweit- mit der Erstbeprobung für die Tiefenstufen 0-2 cm und 2-5 cm der WALD-BDF

0-2 cm							2-5 cm						
Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen	Abnahme > 30%		Abnahme > 10-30%		gleich (± 10%)		Zunahme > 10-30%		Zunahme > 30%		kein Vergleich		
Säureparameter							Säureparameter						
pH (CaCl ₂)	-	-	10	3	1	-	pH (CaCl ₂)	-	-	13	1	-	-
Basensättigung (%)	-	5	3	2	4	-	Basensättigung (%)	-	5	4	1	4	-
Abnahmen / Zunahmen	0	5	13	5	5	0	Abnahmen / Zunahmen	0	5	17	2	4	0
KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)							KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)						
K ⁺	4	5	1	3	1	-	K ⁺	4	3	5	2	-	-
Na ⁺	2	1	3	2	6	-	Na ⁺	2	4	3	-	5	-
Mg ²⁺	5	2	3	1	3	-	Mg ²⁺	3	4	2	2	3	-
Ca ²⁺	4	3	3	-	4	-	Ca ²⁺	4	1	3	3	3	-
Abnahmen / Zunahmen	15	11	10	6	14	0	Abnahmen / Zunahmen	13	12	13	7	11	0
KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)							KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)						
Al ³⁺	1	8	4	1	-	-	Al ³⁺	2	5	5	2	-	-
Fe ³⁺	5	3	1	-	5	-	Fe ³⁺	2	4	1	3	4	-
Mn ²⁺	4	3	2	3	2	-	Mn ²⁺	3	5	1	-	5	-
H ⁺	6	5	1	1	1	-	H ⁺	3	8	-	-	3	-
Abnahmen / Zunahmen	16	19	8	5	8	0	Abnahmen / Zunahmen	10	22	7	5	12	0
As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt							As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt						
As	1	4	1	2	1	5	As	2	3	2	1	1	5
Cd	6	3	2	-	2	1	Cd	4	3	3	1	2	1
Cr	3	6	2	1	1	1	Cr	1	6	3	2	1	1
Cu	3	4	6	-	-	1	Cu	2	3	4	3	1	1
Hg	-	-	-	-	-	14	Hg	-	-	-	-	-	14
Ni	7	4	1	-	1	1	Ni	5	5	2	-	1	1
Pb	6	4	3	-	-	1	Pb	5	4	3	-	1	1
Zn	4	4	5	-	-	1	Zn	5	2	5	1	-	1
Abnahmen / Zunahmen	30	29	20	3	5	25	Abnahmen / Zunahmen	24	26	22	8	7	25
Humuskennwerte (C_{org}, N_t)							Humuskennwerte (C_{org}, N_t)						
C _{org} (%)	1	4	4	4	-	1	C _{org} (%)	1	4	2	5	1	1
N _t (%)	4	3	4	3	-	-	N _t (%)	4	3	4	3	-	-

*Anmerkungen:

- Der qualitative Vergleich der Parameter konnte nur bei einer Messwertbelegung für beide Beprobungstermine durchgeführt werden (Bezugswert: Erstbeprobung=100%). Vereinzelt sind Kennwerte nur für einen Beprobungstermin analytisch bestimmt worden, so z. B. Quecksilber (Werte s. Spalte *kein Vergleich*). → *Fortsetzung*

- Die farbliche Kennzeichnung der aufsummierten Ab- bzw. Zunahmen innerhalb einer Gruppe gibt eine fachliche Bewertung der Veränderungen der bodenchemischen Parameter für den Messzeitraum wieder. Dabei sind die Zahlen in grüner Schriftfarbe als positive Entwicklung hinsichtlich des bodenchemischen Zustands der BDF zu deuten, die rote Schriftfarbe zeigt eine nachteilige Entwicklung der Bodenparameter an.
- Für die Untersuchungsflächen GOC (Zweitbeprobung in 2013) und DUI Ma (abweichende Beprobungstiefen zwischen Erst- und Zweitbeprobung) konnte kein qualitativer Vergleich durchgeführt werden.

3.3 Tiefenverteilung der Bodeneigenschaften

Auf die flächenübergreifende Tiefenverteilung der C_{org} -Gehalte, pH-Werte und Basensättigung der mineralischen Horizonte ist bereits in Kap. 3.1 eingegangen worden (Abb. 3–6). Im Ergebnis sinken die Medianwerte und Maximalwerte der C_{org} -Gehalte stetig mit zunehmender Bodentiefe ab. Die Medianwerte und Maximalwerte der Basensättigung sinken bis 30 cm Bodentiefe ab. In größeren Tiefen verweilt der Medianwert der Basensättigung ungefähr auf einem konstanten Wert von ca. 20 %, wohingegen die maximalen Basensättigungen bis 100 % ansteigen. Die pH-Werte steigen tendenziell mit zunehmender Bodentiefe von einem mittleren pH 3 in der Tiefe bis 2 cm auf einen mittleren pH 4 in der Tiefe ab 30 cm an.

In Abb. 3–8 ist die Tiefenverteilung der Blei- und Cadmiumgehalte an drei unterschiedlichen Standorten abgebildet. Die Standorte unterscheiden sich hinsichtlich der Immissionsbelastung (DUI Bi emittentennah, GLI emittententfern) und den geogenen Grundgehalten (ELB auf montan geprägtem Standort).

Auf allen drei ausgewählten Standorten sinken die Bleigehalte im Mineralboden mit zunehmender Bodentiefe ab. Dieser einheitliche Verlauf wird sowohl von der Erstbeprobung als auch von der Zeitbeprobung nachgezeichnet. In den Auflageproben sind die Bleigehalte größer oder gleich den Bleigehalten der obersten Mineralbodenschicht, wenn relevante Bleieinträge über die Atmosphäre direkt (DUI Bi) oder die Streu (ELB) erfolgt. Fehlen derartige Einträge, dann zeichnen sich die Auflageproben durch geringere Bleigehalte im Vergleich zu der obersten Mineralbodenschicht aus (GLI).

Vergleichbare, aber dennoch leicht modifizierte Ergebnisse liegen für das im Vergleich zum Blei deutlich mobilere Cadmium vor. Während bei der emittentennahen BDF DUI Bi ebenfalls mit zunehmender Schichttiefe ein stetig sinkender Cadmiumgehalt ermittelt wird, ist bei GLI und ELB unterhalb der organischen Auflagen keine bedeutsame Differenzierung erkennbar. Diese geringe Differenzierung wird mit der versauerungsbedingt erhöhten Cadmium-Mobilität in Verbindung gebracht (vgl. Kap. 3.4), so dass die Auswaschungsraten die Eintragsraten übertreffen, mithin in den oberen Tiefenstufen keine Anreicherung zu beobachten ist. Bei GLI ist in der Schicht 30-60 cm ein leichter Anstieg der Cadmiumgehalte zu diagnostizieren, der wahrscheinlich auf geogene Gehalte zurückzuführen ist. Die höheren Cadmium-Gehalte in der Auflage der BDF DUI Bi und ELB sind noch Ausdruck atmogener Einträge.

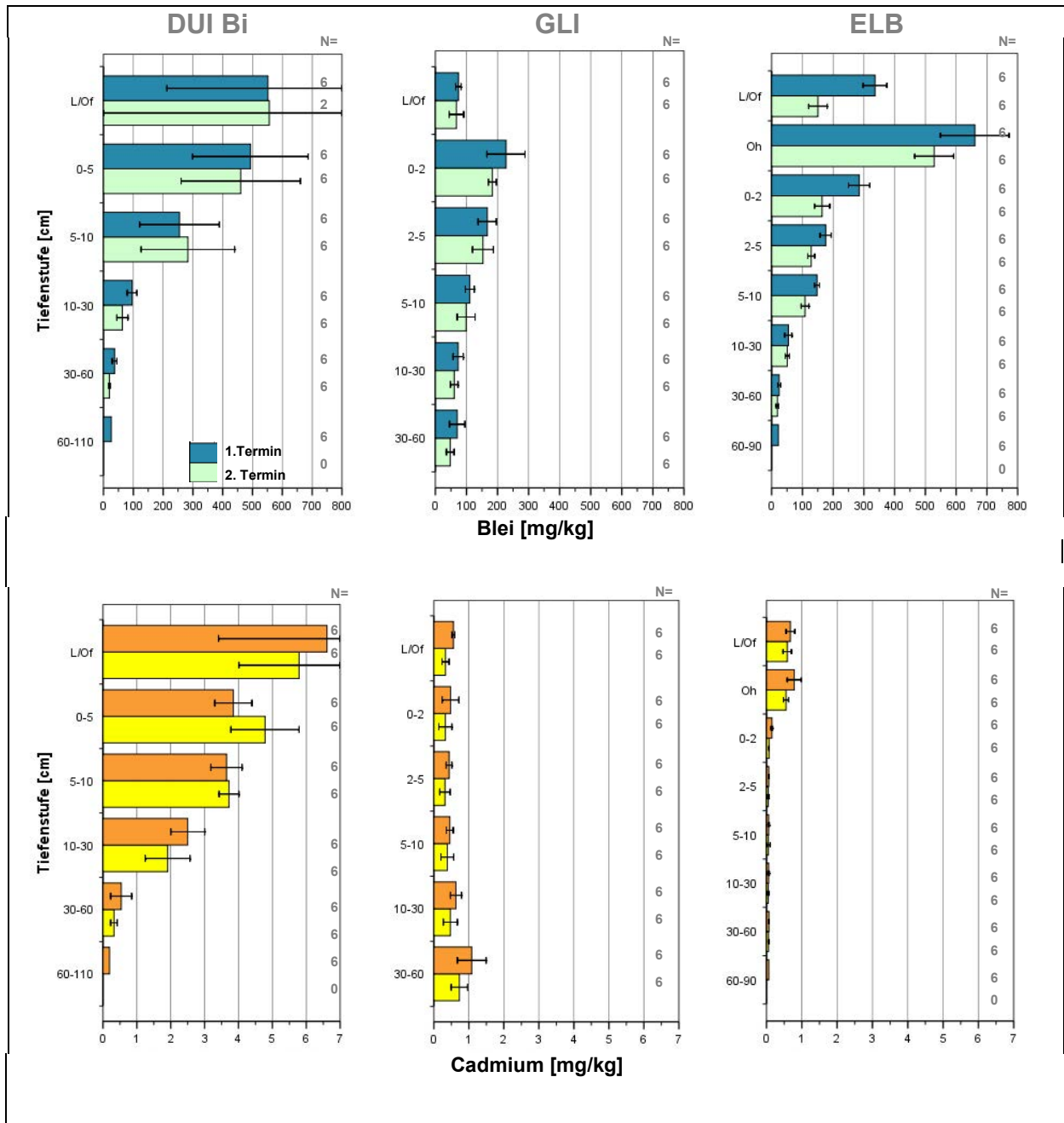


Abb. 3–8: Arithmetische Pb- und Cd-Mittelwerte [mg/kg] der beprobten Tiefenstufen der Standorte DUI Bi, ELB und GLI; Mittelwerte der Erst- und Zweitbeprobung mit 95%-Vertrauensbereich (fehlende Balken = keine Werte für den entsprechenden Termin).

3.4 Versauerung

Die natürlichen Prozesse der Bodenversauerung wurden vor allem durch anthropogene Umwelteinflüsse seit der Industrialisierung mit dem atmosphärischen Eintrag von säurebildenden Substanzen wie z. B. Schwefelverbindungen, Stickoxiden und landwirtschaftlichen Ammoniumemissionen beschleunigt. Damit einhergehen deutliche Beeinträchtigungen der Filter- und Pufferfunktionen der Böden.

Eine aktuelle UBA-Studie (BUILTJES et al. 2011) macht anhand von Trendanalysen deutlich, dass das Problem der Versauerung zwar seit 1990 zurückgegangen ist, insbesondere in Folge der Reduktion der Schwefelemissionen. Dennoch werden die Critical Loads für Säure immer noch auf rund 45 % der Fläche Deutschlands (2007) überschritten; 1990 wurden noch auf 85 % der Fläche die Critical Loads für Säure überschritten. Auch die Stickstoffemissionen sind in Deutschland zwischen 1990 und 2007 um ca. 15% (NH₃) bzw. 50% (NO_x) zurückgegangen. Dennoch führen Stickstoffverbindungen weiterhin zu Bodenversauerung und Nährstoffungleichgewichten auf fast 80% der Fläche empfindlicher Ökosysteme in Deutschland.

Insbesondere der Wald stellt aufgrund großer Vegetationsoberflächen eine bedeutende Senke für luftbürtige Stoffeinträge dar. Die Prozesse der Bodenversauerung sind daher auf Waldböden besonders wirksam und führen zu einer Beeinträchtigung der Filter- und Pufferfunktionen. Außerdem sind Auswirkungen auf die Lebensraumfunktionen als Pflanzenstandort und für Bodenorganismen sowie die komplexen ökosystemaren Wechselbeziehungen zu erwarten. Der Säurehaushalt von Waldböden als Standortfaktor erfüllt wesentliche Steuerungsfunktion im Hinblick auf ökosystem-interne Stoffkreisläufe und biotische Lebensbedingungen.

Als wichtige Indikatoren zur Kennzeichnung des Säure-Basen-Zustands der Wald-BDF in Nordrhein-Westfalen werden standortbezogen die pH-Werte und die Kationen-Belegungen des Austauschkomplexes herangezogen. Ergänzend dazu wird der unterschiedlichen Mobilität von Schwermetallen mit Hilfe des Pb:Cd-Verhältnisses nachgegangen. Aufgrund der unterschiedlichen Mobilisierbarkeit der Metalle geben die pH-Wert-abhängigen Pb:Cd-Verhältniszahlen Hinweise auf das Auswaschungsverhalten und können zur Kennzeichnung des bodenchemischen Zustands herangezogen werden.

3.4.1 pH-Werte

Die pH-Wert-Situation der BDF wird anhand von zwei exemplarisch ausgesuchten Einzelflächen und anhand von BDF-Gruppen dargestellt. Dabei wird auf die Tiefenverteilung der pH-Werte eingegangen.

pH-Werte der BDF Elberndorf und Glindfeld

Abb. 3–9 und Abb. 3–10 zeigen exemplarisch die Tiefenverteilungen der gemessenen pH-Werte für die Feldparallelen der BDF ELB und GLI. In den Grafiken werden die pH-Werte der Zweitbeprobungen und die Veränderungen gegenüber der Erstuntersuchung dargestellt. Die Tiefenprofile der beiden Standorte sind in ihrem Verlauf charakteristisch für die meisten untersuchten Wald-BDF.

In den organischen Auflagehorizonten werden die pH-Werte grundsätzlich durch die Vegetationsform bestimmt (BMELF 1997); so liegen zum Beispiel die pH-Werte der L/Of-Horizonte unter (GLI) Laubwald mit pH 4 bis pH 4,7 deutlich über denen des Nadelwaldstandortes ELB (pH 3-3,2). In den Oh-Horizonten der BDF ELB ist ein deutlicher Rückgang des pH-Wertes zu verzeichnen, der mitunter auf die Freisetzung organischer Säuren beim mikrobiellen Abbau der organischen Substanz zurückzuführen ist. Am Nadelwaldstandort ELB zeichnet sich erwartungsgemäß in den oberen mineralischen Bodenhorizonten bis 30 cm Tiefe eine deutlich stärkere und auch tiefer reichende Bodenversauerung gegenüber der BDF GLI ab; die pH-Werte pendeln sich erst in den Tiefenstufen unterhalb 30 cm auf ein Niveau um pH 4 ein, das bei GLI bereits in 10 cm Tiefe erreicht wird. Die dargelegten beispielhaften Nutzungsunterschiede zwischen dem Laubwaldstandort GLI und dem Nadelwaldstandort ELB lassen sich jedoch nicht an allen WALD-BDF in Nordrhein-Westfalen erkennen.

Im Vergleich mit den Ergebnissen der Erstuntersuchung sind an der BDF ELB bei fast allen Feldparallelen über nahezu alle Tiefenstufen bis zu maximal 0,4 pH-Einheiten niedrigere Werte zu verzeichnen; an der BDF GLI hingegen können deutlich höhere Werte gemessen werden. Durch langjährige Untersuchungen des Säurezustandes von Waldböden in Baden-Württemberg und Hessen (LFU 1997) konnte nachgewiesen werden, dass selbst auf stark versauerten Waldstandorten mit $\text{pH} < 3$ jahreszeitliche Schwankungen von bis zu 0,4 pH-Einheiten (CaCl_2) auftreten können. Insofern sind die Untersuchungsergebnisse auf Grundlage von nur einer Wiederholungsmessung – nicht zuletzt aufgrund der geringen Anzahl von Stichproben – nur bedingt interpretierbar und nicht statistisch abgesichert im Hinblick auf mögliche zeitliche Veränderungen. Nichtsdestotrotz sind an der BDF ELB die bei fast allen Feldparallelen festzustellenden niedrigeren pH-Werte der Zweituntersuchung auffällig.

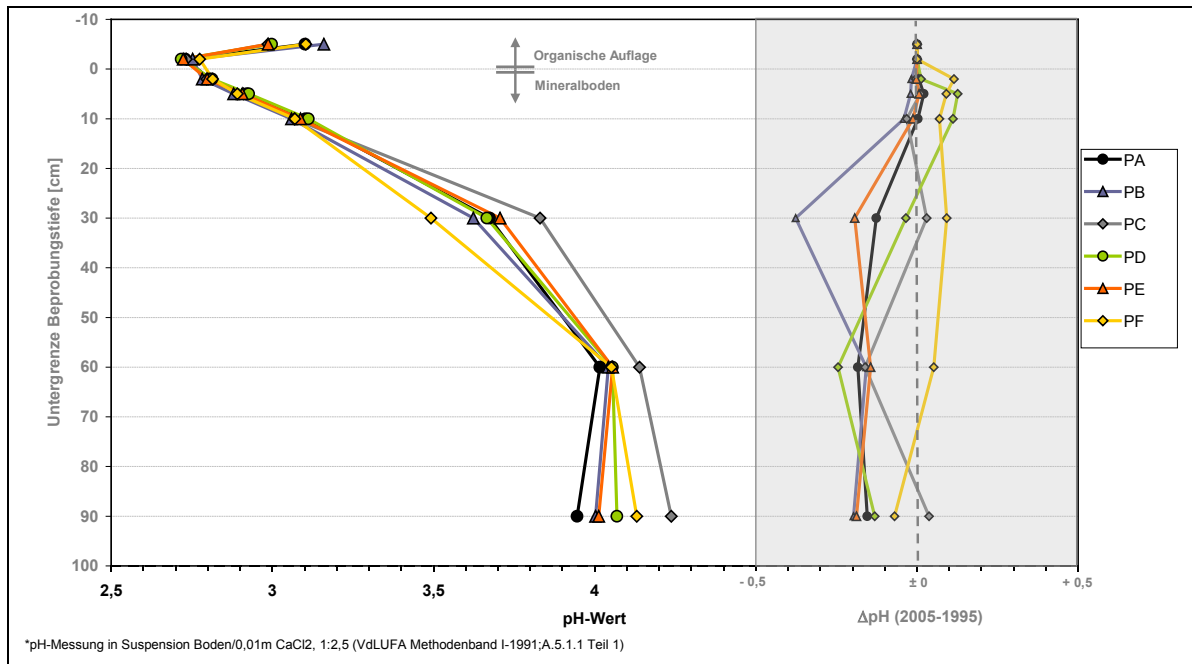


Abb. 3–9: pH-Werte der Feldparallelen für die Tiefenstufen der BDF Elberndorf 2005 und Veränderung im Vergleich zu 1995

Die deutlich positiven pH-Wert-Unterschiede in den Tiefenstufen der BDF GLI sind sehr wahrscheinlich auf standorttypische Heterogenitäten zurückzuführen. Für eine starke Variabilität sprechen zum einen die ungleichförmigen Tiefenprofile der Zweitbeprobung mit einer sehr großen Spannweite der pH-Werte und die teils extrem hohen Differenzen beim pH-Wertvergleich beider Beprobungstermine. Die BDF GLI wird in einem Erfahrungsbericht des GD NRW zur ersten Wiederholungsbeprobung im Jahr 2005 wie folgt charakterisiert: „*Bezüglich der geologisch-bodenkundlichen Ausstattung der BDF variieren die anstehenden Festgesteine, die fast immer die Probenentnahmetiefe BDF 60-90 cm, z. T. auch BDF 30-60 cm bzw. EU 40-80, z. T. auch EU 20-40 cm dominieren, von Sand- und Schluffsteinen, (carbonatischen) Tonsteinen bis hin zu Mergeltonsteinen und Tonmergelsteinen, selbst auf den jeweils beprobten 9 qm großen Einzelflächen. Zudem traten alle Verwitterungsstadien dieser Gesteine in der Zersatzzone auf: massive Festgesteine, die bei der motorbetriebenen Bohrung entsprechend ihres Härtegrades kaum oder in größerem Umfang zu Grobsand zerkleinert wurden, entkalkte und nicht entkalkte Gesteine sowie vollkommen zu Feinboden (Ton, Schluff etc.) durchgewitterte Partien. Alle diese Ausbildungen können auf einer Fläche in einer Tiefenstufe gemeinsam auftreten und durch ihre Beimengung zum Feinboden die Aussagekraft der Analysen in Frage stellen.*“

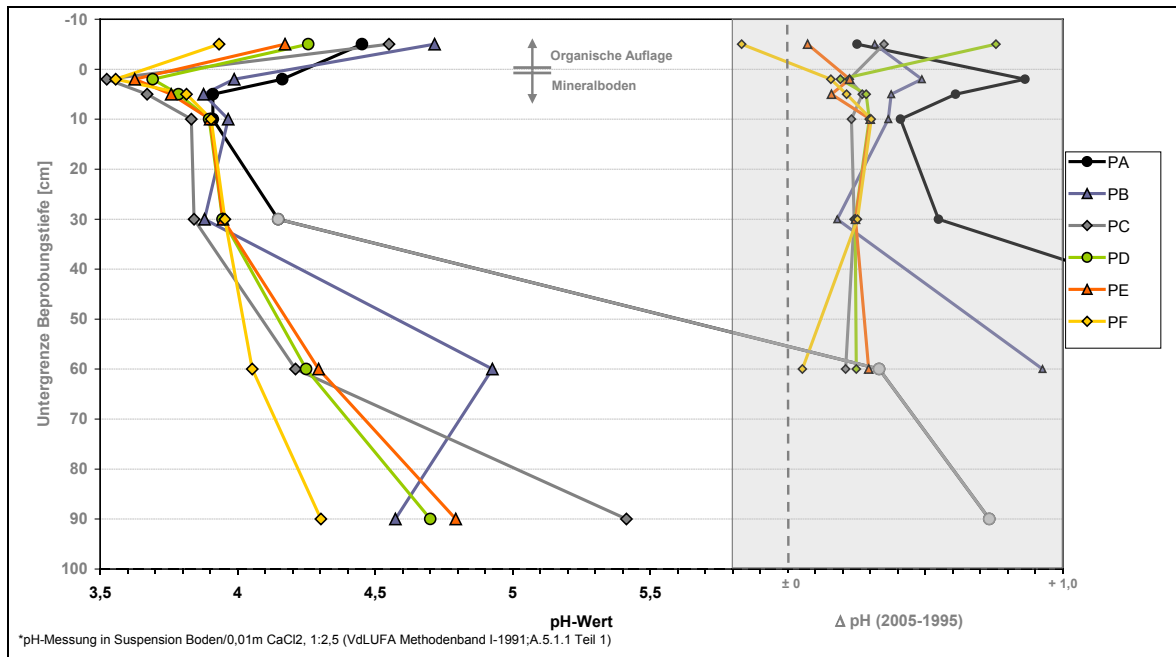


Abb. 3–10: pH-Werte der Feldparallelen für die Tiefenstufen der BDF Glindfeld 2005 und Veränderung im Vergleich zu 1995

pH-Mittelwerte von BDF-Gruppen

Zur Charakterisierung des bodenchemischen Zustands aller BDF wurden die mittleren pH-Werte für beide Beprobungstermine ausgewertet. Die arithmetischen Mittelwerte wurden jeweils aus den delogarithmierten pH-Werten der Einzelmessungen bzw. Feldparallelen berechnet (vgl. Kap. 2.4). Ausgehend vom Tiefenprofil der mittleren pH-Werte können die BDF in drei Gruppen mit charakteristischem Säurestatus gegliedert werden:

Gruppe 1: Dieser Gruppe werden insgesamt 12 Wald-BDF zugewiesen, deren Bodenprofile durch sehr starke bis extrem starke Versauerung über den gesamten beprobten Bereich bis in 1 Meter Tiefe geprägt sind (Abb. 3–11). An acht Standorten liegen die mittleren pH-Werte im Mineralboden in den Tiefenstufen bis 5 cm Tiefe im Fe-Pufferbereich mit pH-Werten zwischen 2,6 und 3,1. Weitere 4 BDF (BOT, DUI Ma, DUI Wa, LAM Bu) sind mit pH 3,5-4,0 etwas besser gepuffert und sind dem Al-Fe-Pufferbereich zuzuordnen. Auch in den tieferen Beprobungsstufen bis 90 cm wird der Austauscherpufferbereich (pH > 4,2) nicht erreicht; die einzige Ausnahme tritt auf der BDF GOC auf, wo in der Tiefenstufe bis 90 cm ein pH-Wert von 4,5 vorliegt.

Die Erst- und Zweituntersuchungen der Gruppe 1 zeigen keine einheitliche Verschiebung der pH-Werte. Zumeist streuen die Zu- bzw. Abnahmen um $\pm 0,4$ pH-Wert-Einheiten, so dass sich noch keine eindeutige Veränderung ablesen lässt. Größere Abweichungen der Zweit- von der Erstuntersuchung liegen lediglich für die Tiefenstufe 30-60 cm an der BDF DUI Wa vor. Dort beträgt die Differenz -0,6 pH-Einheiten, was auf den vergleichsweise hohen gemessenen pH-Wert einer Stichprobe der Erstuntersuchung zurückzuführen ist.

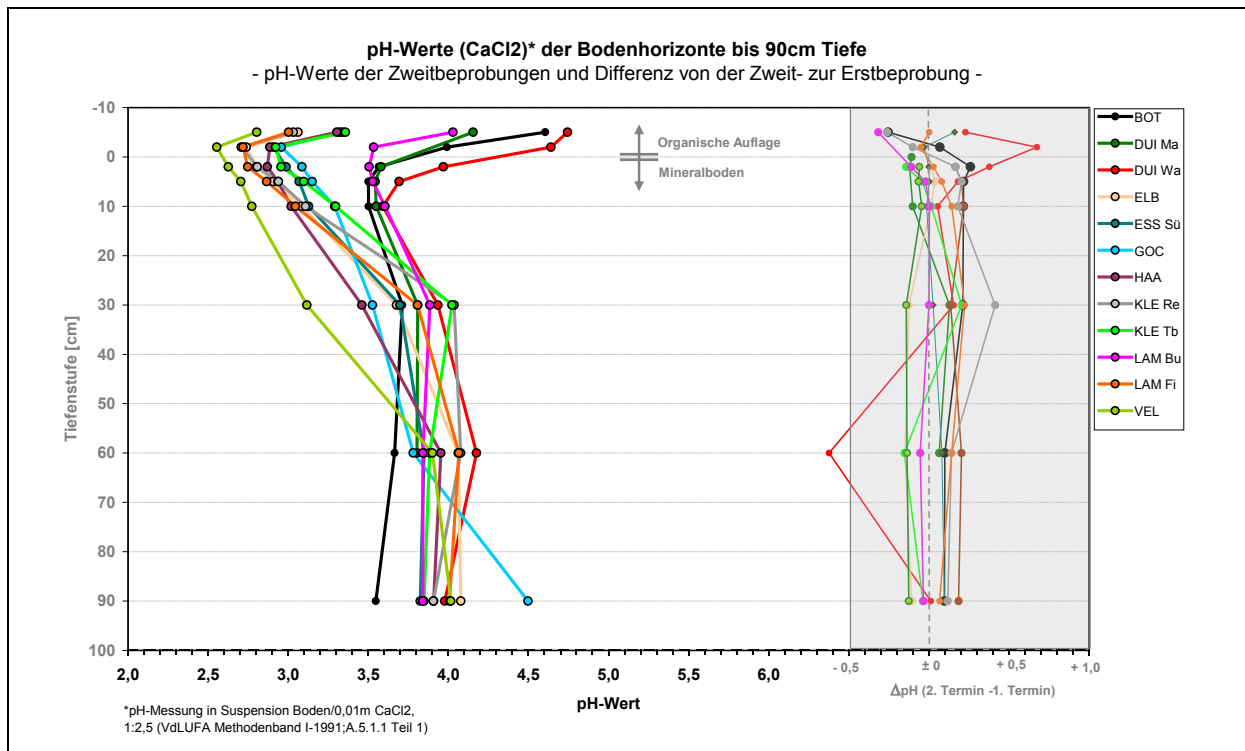


Abb. 3–11: pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der sehr stark bis extrem versauerten BDF der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)

Gruppe 2: Auf vier BDF ist eine deutliche Zunahme der pH-Werte mit der Tiefe feststellbar (Abb. 3–11). Während der Säurehaushalt der oberen Tiefenstufen bis 10 bzw. 30 cm noch durch sehr niedrige pH-Werte geprägt ist, deutet der sprunghafte Anstieg auf Werte zwischen pH 5,6 und pH 7,4 in der Tiefe auf einen Einfluss der teils karbonatischen Ausgangssubstrate hin. In diesen Böden werden die Säureeinträge durch die Auflösung von Carbonaten und Silikaten abgepuffert.

Die starke Zunahme des pH-Wertes im Oberboden bei der Zweitbeprobung auf der Fläche CAR um mehr als eine pH-Wert-Einheit kann auf eine Bestandskalkung im Jahr 2001 zurückgeführt werden.

In der Tiefenstufe 30-60 cm weichen die pH-Werte der Zweituntersuchung der BDF CAR, EWI und GLI um mehr als eine pH-Wert-Einheit von den Ergebnissen der Erstuntersuchung ab. Bei CAR sind die pH-Werte der Zweituntersuchung von fünf der sechs Feldparallelen um 2 bis 3 pH-Wert-Einheiten höher als bei der Erstuntersuchung. Bei EWI beträgt der Unterschied zwischen den Feldparallelen der beiden Untersuchungsterminen zwischen 1 und 2,5 pH-Wert-Einheiten. Bei GLI wird der Unterschied durch einen einzelnen stark abweichenden pH-Wert der Zweituntersuchung ausgelöst. Die aufgeführten Differenzen zwischen Zweit- und Erstuntersuchung werden wahrscheinlich auf den Einfluss heterogener Ausgangssubstrate in der Tiefenstufe 30-60 cm zurückzuführen sein; es ist davon auszugehen, dass in dieser Tiefenstufe die Ausgangssubstrate kleinräumig wechseln und stellenweise karbonatisch bzw. nicht karbonatisch sind.

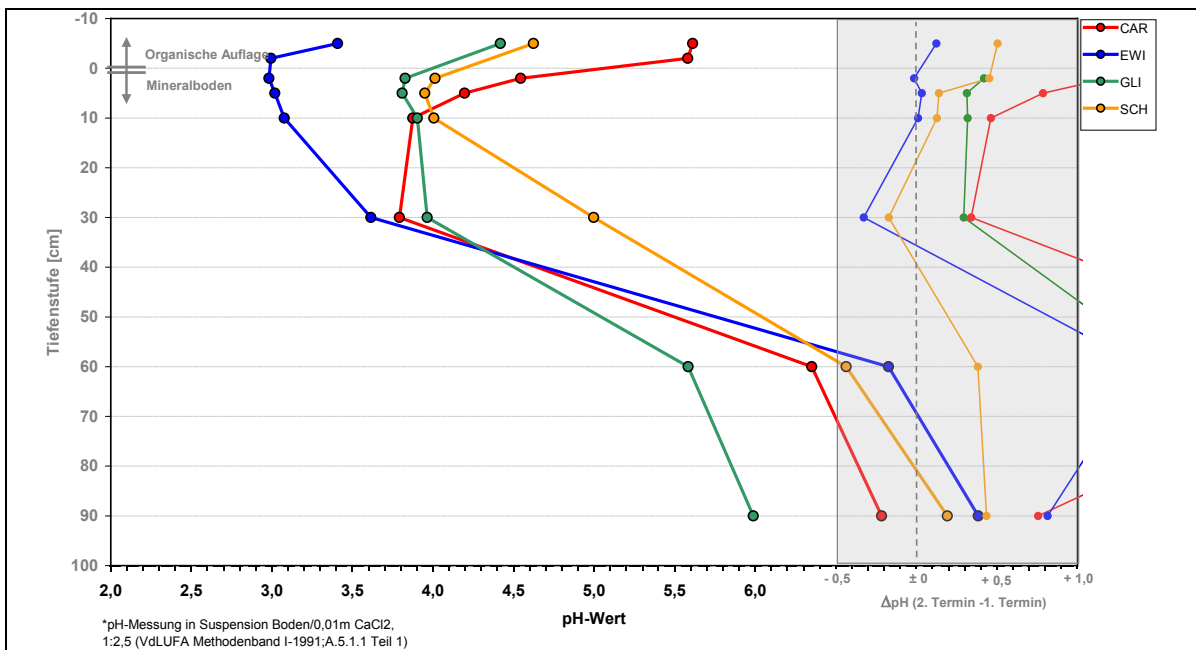


Abb. 3–12: pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der BDF mit karbonatischen Ausgangssubstraten der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)

Gruppe 3: Erwartungsgemäß sind die BDF auf Grünland bzw. Parkwiese (DUI Bi) gegenüber den Waldstandorten deutlich besser gepuffert; die pH-Werte liegen in einem Bereich zwischen 4,5 bis 6,6 (Abb. 3–12). Die Pufferung erfolgt überwiegend im Austausch- bis Silikatpufferbereich. Deutliche Unterschiede zwischen Erst- und Zweitbeprobung sind nicht zu erkennen.

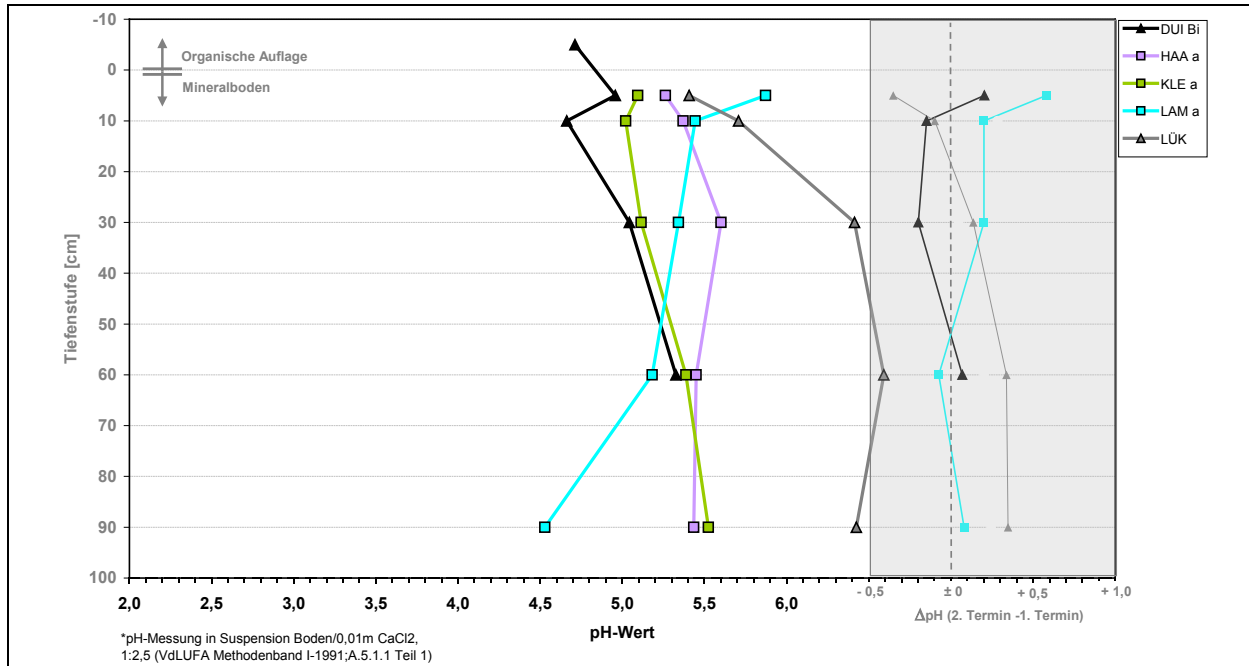


Abb. 3–13: pH-Mittelwerte der Tiefenstufen der Grünland-BDF (inkl. DUI Bi Parkwiese) der Zweitbeprobung und deren Abweichung zur Erstbeprobung (grauer Kasten)

3.4.2 Belegung des Austauscherkomplexes

Ein wesentliches Kriterium zur Beschreibung des Säure-Basen-Zustands und des Nährstoffhaushalts von Böden ist die Belegung der Austauscherkomplexe der Bodenfestphase mit austauschbar gebundenen Kationen. Der pH-Wert beschreibt zwar die Bodenreaktion bzw. das bodenchemische Milieu, sagt aber nicht unmittelbar etwas über den stofflichen Zustand und die Verfügbarkeit von Nährstoffen aus.

Als Austauscherkomplexe fungieren Tonminerale, Huminstoffe und Metalloxide. An ihren Oberflächen erfolgt die sorptive Bindung bzw. der Austausch von Kationen mit der Bodenlösung. Die Austauschkapazität beeinflusst die Fähigkeit des Bodens, pH-Wert-Änderungen durch Säure- oder Baseneinträge zu neutralisieren bzw. abzupuffern. Den prozentualen Anteil der so genannten Basensättigung (BS) an der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) bilden im Wesentlichen die austauschbaren basisch wirkenden Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ und K^+ (M_b -Kationen). Die säurebildenden Kationen (M_a -Kationen) liegen hauptsächlich in Form von Al^{3+} - und H^+ -Ionen vor. Fe^{3+} und Mn^{2+} nehmen einen weitaus geringeren Anteil der austauschbaren Kationensäuren ein.

Beim Prozess der Bodenversauerung werden Säureeinträge zunächst durch den Austausch basischer Kationen abgepuffert. Gleichzeitig wird aufgrund der hohen Bindungsstärke von freigesetzten Al^{3+} -Ionen die Selektivität der Austauscheroberflächen für die basischen Kationen vermindert (BMELF 2000). Somit begünstigt die Bodenversauerung den Verlust basischer Kationen durch Auswaschung mit dem Sickerwasser und führt bei anhaltendem Säuredruck zur allmählichen Erschöpfung der Puffersysteme. Mit fortschreitender Versauerung werden zunehmend primäre und sekundäre Tonminerale aufgelöst und Al^{3+} -Ionen freigesetzt, die zudem bei erhöhten Konzentrationen in der Bodenlösung pflanzentoxisch wirken und das Wachstum hemmen. Die Zerstörung der Tonminerale kann zudem zu irreversiblen Gefügeschäden und zur Beeinträchtigung von Bodenfunktionen führen.

Die BDF können hinsichtlich der Austauscherbelegungen analog den pH-Werten (Kap. 3.4.1) in drei Gruppen gegliedert werden, die charakteristische Verläufe der Basensättigungsgrade im Tiefenprofil zeigen. Aus Tab. 3–6 gehen die aus der Bodenreaktion abgeleiteten Basensättigungsgrade nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 2005) hervor. Im Anhangkapitel 7.4 sind die Tiefenprofile aller BDF (jeweils Ergebnisse der Zweitbeprobung) mit der entsprechenden Gruppenzuordnung zusammengestellt.

Tab. 3–6: Beziehung zwischen Basensättigungsgrad BS und pH-Wert (AG BODEN 2005)

Kurzzeichen	Bezeichnung	BS (%)	pH-Wert (CaCl_2)
BS1	Sehr basenarm	< 5	< 3,3
BS2	Basenarm	5 bis < 20	3,3 bis < 3,8
BS3	Mittelbasisch	20 bis < 50	3,8 bis < 4,8
BS4	Basenreich	50 bis < 80	4,8 bis < 6,0
BS5	Sehr basenreich bis basengesättigt	80 bis 100	$\geq 6,0$

Tiefenprofile aller BDF (Anhangkapitel 74)

In den Tiefenprofilen der **Gruppe 1** äußert sich die sehr starke bis extrem starke Versauerung der Waldböden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in geringen bis sehr geringen Basensättigungsgraden über die gesamte Profiltiefe. Die Böden sind durch tiefgründige Verarmung an basischen Kationen infolge Auslaugung gekennzeichnet. Die Versauerungsfront, unterhalb derer die Basensättigungen in der Regel wieder ansteigen, ist bereits in größere Tiefen vorgedrungen. So sind die oberen mineralischen Bodenhorizonte bis 5 cm Tiefe als überwiegend basenarm bis sehr basenarm einzustufen. In den tiefer liegenden Stufen herrscht fast ausnahmslos eine sehr hohe Bodenacidität mit einem prozentualen Anteil der basischen Kationen an der KAK_{eff} unter 5 % vor. Die höheren Sättigungen in den oberen Tiefenstufen sind durch die selektive Bindung von basischen Kationen an der organischen Substanz der humosen Mineralbodenhorizonte zu erklären, mithin sinken die BS mit abnehmenden C_{org} -Gehalten zur Tiefe bei gleichzeitigem Anstieg der pH-Werte.

An vier BDF sind deutlich höhere BS in den oberen Tiefenstufen bis 10 cm zu verzeichnen, die überwiegend als mittelbasisch bis basenreich einzustufen sind. Als Ursache der oberflächennahen Aufbasung können bei DUI Ma, DUI Wa und BOT meliorative Bestandskalkungen bzw. -düngungen angesehen werden (siehe Anhangkap. 7.4).

Bei GOC sind keine Informationen über anthropogen bedingte Baseneinträge vorhanden, doch die hydromorph geprägten Pseudogley-Gley-Böden an diesem Standort können Basenverluste in zweierlei Hinsicht kompensieren. Zum einen erfolgt im Schwankungsbereich des basenreichen Grundwassers die Nachlieferung basischer Kationen, zum anderen hemmen die stauenden Schichten im Unterboden den Sickerwasserfluss und somit auch die Auswaschung von Nährstoffen. Folglich steigen die BS in der Tiefenstufe 30-60 cm sprunghaft an und erreichen unterhalb 60 cm Sättigungsgrade von über 80 % (BS5).

Die Böden mit karbonathaltigen Ausgangsgesteinen der **Gruppe 2** sind durch einen deutlich besseren bodenchemischen Zustand gekennzeichnet. Erwartungsgemäß sind die Basensättigungsgrade gegenüber der ersten Gruppe deutlich höher und steigen in den tieferen Bodenschichten im Einflussbereich der Gesteinsverwitterung auf bis zu 100 % an. Dennoch sind die Oberböden unter dem Einfluss lang anhaltender Säuredepositionen durch Basenverluste geprägt, wenngleich die obersten Mineralbodenhorizonte als mittelbasisch bis basenreich einzustufen sind. Am Standort CAR fallen die sehr hohen Sättigungsgrade zwischen 0 und 10 cm auf, die auf die (nicht abgesprochene) Bestandskalkung zurückzuführen sind.

Die Nährstoffversorgung auf den gut gepufferten Böden unter Grünlandnutzung der **Gruppe 3** ist durch sehr hohe BS über das gesamte Profil gekennzeichnet. Fast ausnahmslos sind die Böden als basenreich einzustufen, lediglich auf der Untersuchungsfläche HAAa sinkt der Anteil austauschbar gebundener basischer Kationen unterhalb der Tiefenstufe 10-30 cm auf Werte zwischen 60 und 80 %. Möglicherweise deuten die etwas niedrigeren BS im Unterboden auf anhaltenden Säuredruck in Emittentennähe; die Böden der benachbarten Wald-BDF HAA sind gleichermaßen stark versauert. In den Tiefenstufen von 0 bis 30 cm hingegen könnte die höhere Nährstoffverfügbarkeit auf Düngungseffekte im reliktschen Bearbeitungshorizont der ehemaligen Ackerfläche zurückzuführen sein.

Tiefenprofile der BDF Elberndorf und Glindfeld

In Abb. 3–14 und Abb. 3–15 sind die prozentualen Belegungen des Austauscherkomplexes mit basischen und sauren Kationen für die Erst- und Zweitbeprobung der BDF Elberndorf und Glindfeld gegenübergestellt. Anhand des exemplarischen Vergleichs soll möglichen Veränderungen des bodenchemischen Zustands nachgegangen werden.

Die Verteilung der Austauscherbelegung der **BDF ELB** deutet auf starke Beeinträchtigungen der Filter- und Pufferfunktionen der Böden hin, die ihren Ausdruck in extrem geringen Basensättigungen unter 5 % findet. Generell liegen die BS über das gesamte Profil unterhalb der kritischen Schwelle von 15 %, unterhalb derer erhöhte Aluminiumtoxizität vorherrscht. Das Profil ist bis 10 cm Tiefe extrem versauert und liegt mit pH-Werten bis unter pH 3 im Al-Fe-Pufferbereich bzw. Fe-Pufferbereich. Dieses geochemische Milieu ist geprägt durch die Auflösung und Verlagerung von Eisenverbindungen und Huminstoffen und führt schließlich zur Podsolierung des Bodenprofils (siehe Anhangkap. 7.5.5). Unterhalb 10 cm Bodentiefe steigt der pH-Wert auf etwa pH 4 an, gleichzeitig geht die Belegung der Austauscher mit Fe^{3+} - und H^+ -Ionen deutlich zurück. Im Vergleich zur Erstbeprobung zeigen die Untersu-

chungen in 2005 keine Veränderung der Bodenreaktion, und auch die BS sind nahezu unverändert.

Die Filter- und Pufferfunktionen an der **BDF GLI** sind als Folge von Versauerungsprozessen und zurückgehender Basensättigung bis in 30 cm Bodentiefe mäßig bis stark beeinträchtigt. Ab 30 cm Bodentiefe erfolgt ein sprunghafter Anstieg der Basensättigung und des pH-Wertes als Indiz für basische Verwitterungsprodukte der Ausgangssubstrate. Im Unterschied zur Erstbeprobung wurden für die BS der Zweitbeprobung in den Tiefenstufen bis 30 cm um rund 10 %-Punkte höhere Werte ermittelt. In der Schicht 30-60 cm sogar um 20 %-Punkte höhere Werte von knapp über 60 %, begleitet von einem sprunghaftem Anstieg des Ca^{2+} -Anteils an der BS. Der pH-Wert liegt in dieser Tiefenstufe um 1,6 Einheiten über dem der Erstbeprobung bei pH 5,6. Dies ist nicht als zeitliche Veränderung zu interpretieren. Stattdessen ist wahrscheinlich doch eine (nicht abgestimmte) Kalkung erfolgt, die dem LANUV nicht bekannt ist.

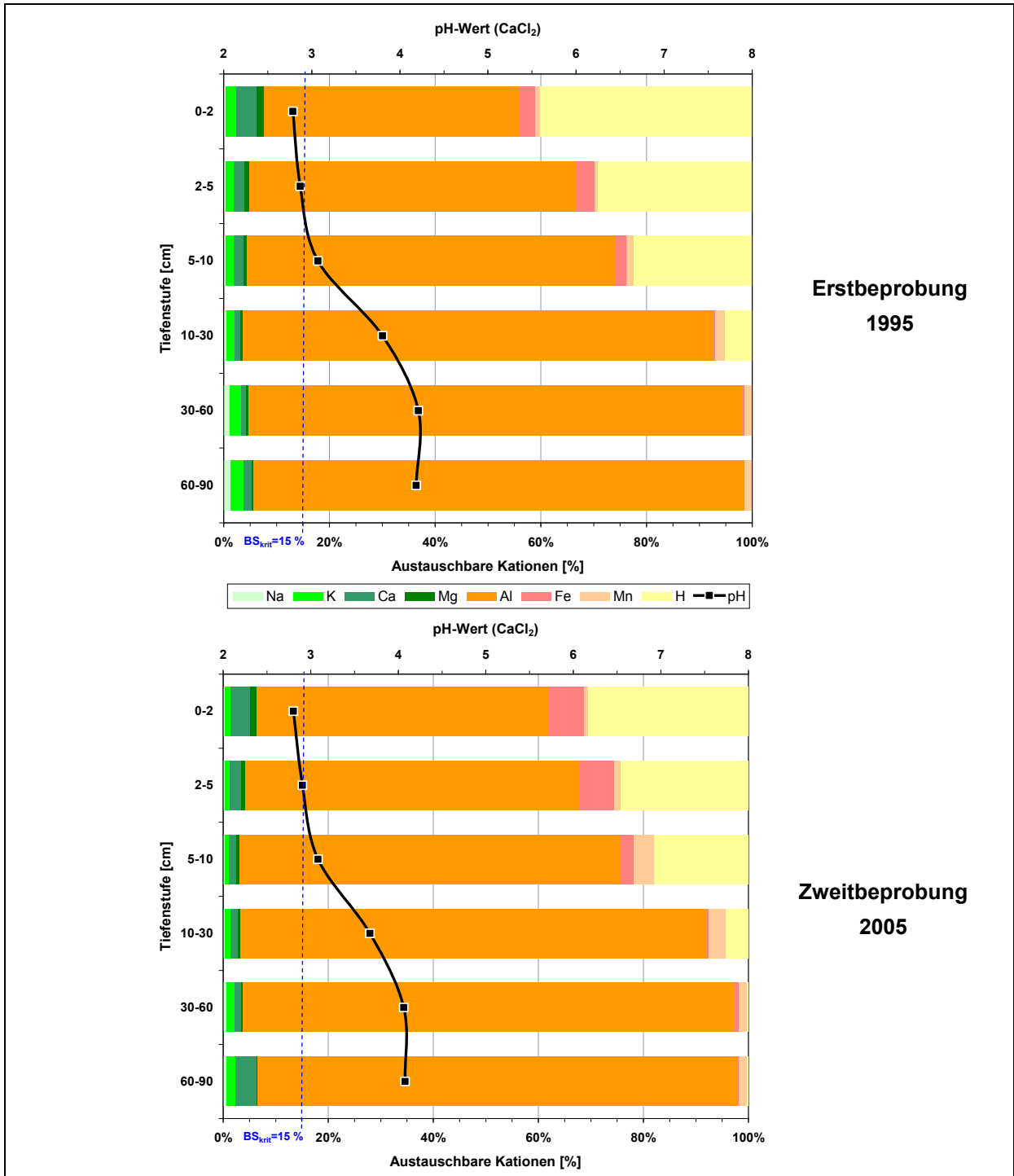


Abb. 3–14: Austauscherbelegung und pH-Wert der Tiefenstufen auf der BDF Elberndorf 1995 und 2005

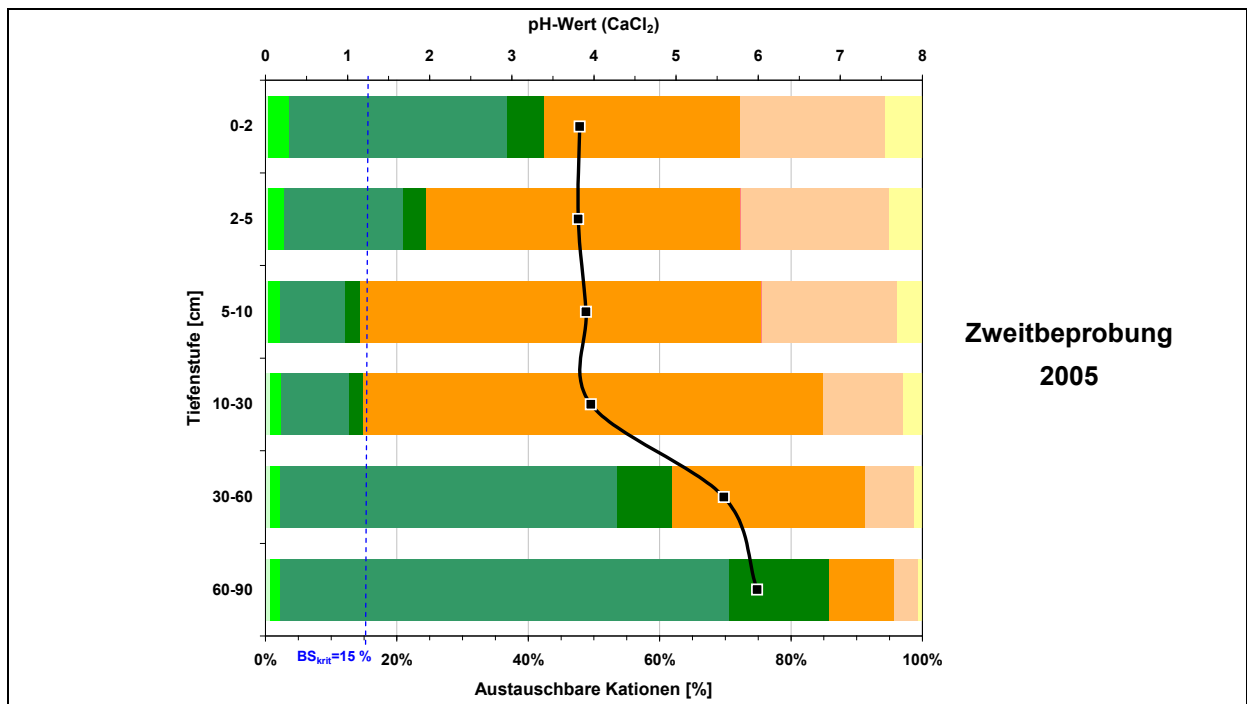
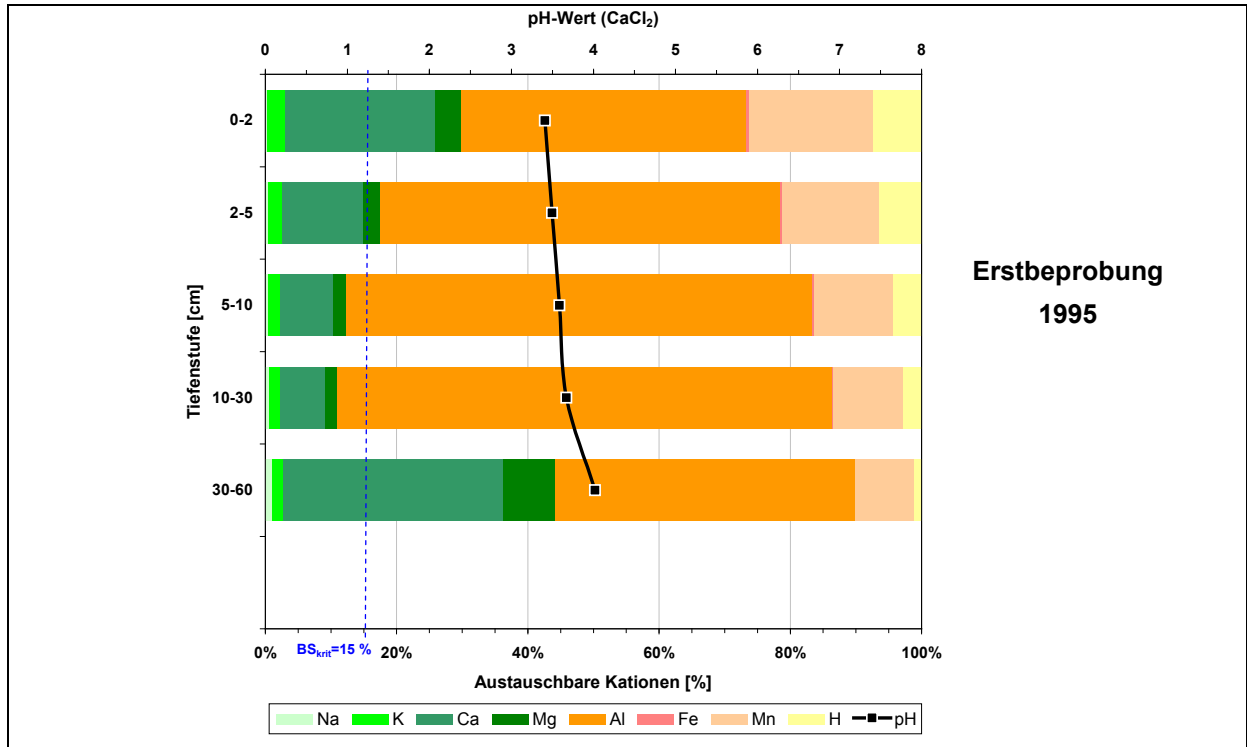


Abb. 3–15: Austauscherbelegung und pH-Wert der Tiefenstufen auf der BDF Glindfeld 1995 und 2005

3.4.3 Blei:Cadmium-Verhältnis

Auf versauerten Böden ist die Mobilität der meisten anorganischen Schadstoffe erhöht, wobei elementspezifische Unterschiede zu beachten sind. Im Zusammenhang mit den Gehalten leicht mobilisierbarer Schwermetalle wie Cadmium und Zink kann aufgrund der sehr niedrigen pH-Werte in den Böden der Wald-BDF von einer bedeutenden Auswaschung der Elemente ausgegangen werden. Im Gegensatz dazu ist bei Schadstoffen mit geringer Mobilität – wie zum Beispiel Blei – von einer geringeren Auswaschung auszugehen.

Hinweise auf Unterschiede im Auswaschungsverhalten lassen sich mit Hilfe von Verhältniszahlen als Quotienten der Gehalte zweier Schadstoffe aufspüren. So wird zum Beispiel von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2010) für Böden ein mittleres Pb:Cd-Verhältnis von 100:1 angegeben.

Um für die BDF den pH-Wert-Einfluss auf das elementspezifische Auswaschungsverhalten darstellen zu können, wurde das Pb:Cd-Verhältnis in Abhängigkeit vom pH-Wert nutzungsübergreifend für alle BDF grafisch ausgewertet (Abb. 3–16). In die Auswertung gingen die Messwerte der Feldparallelen (Wald, Parkwiese) und der Einzelstichproben der Grünlandflächen ein. Da insbesondere auf Waldböden in der organischen Auflage und den oberen Bodenschichten bodenchemische Unterschiede bestehen, wurde das Pb:Cd-Verhältnis getrennt für die beprobten Tiefenstufen ausgewertet.

Bei der Betrachtung der Streudiagramme wird deutlich, dass die gut gepufferten Böden der Grünland- und Parkflächen Pb:Cd-Verhältnisse um ca. 100:1 und kleiner aufweisen. Erst bei deutlich niedrigeren pH-Werten weitet sich das Verhältnis generell auf und nimmt bei Waldstandorten in Abhängigkeit vom Vegetationstyp von Laub- zu Nadelwald deutlich zu. Im Extrem nimmt das Pb:Cd-Verhältnis bei Nadelwald im Mineralboden ein Verhältnis von ca. 5.500:1 an. Die Auflagehorizonte erreichen gar ein Maximum von 28.248:1. Im Mittel liegt das Pb:Cd-Verhältnis über alle mineralischen Bodenhorizonte bei 676:1. Diese pH-Wert-abhängige Verschiebung des Pb:Cd-Verhältnisses ist bis in die Tiefenstufe 30-60 cm nachvollziehbar. Jedoch ist von der Auflage bis in die Schicht 30-60 cm ein abnehmender Einfluss des pH-Wertes festzustellen.

Unterhalb von 60 cm Bodentiefe ist auf den untersuchten BDF keine pH-Wert-abhängige Verschiebung des Pb:Cd-Verhältnisses mehr erkennbar. Es ist davon auszugehen, dass in diesen tieferen Bodenschichten das Pb:Cd-Verhältnis vornehmlich durch die geogenen Ausgangsgehalte geprägt wird.

Vergleichbare Ergebnisse zum Pb:Cd-Verhältnis liegen für den Rheinisch-Bergischen Kreis, Märkischen Kreis und Kreis Olpe anhand der Bodenbelastungskarten vor. Für die jeweils oberste Mineralbodenschicht der Nutzungen Wald, Grünland und Acker wurden pH-Wert-abhängige Pb:Cd-Verhältnisse ermittelt (Abb. 3–17).

Die Auswertungen machen deutlich, dass die Versauerung zu einer Beeinträchtigung der Filter- und Pufferfunktionen der Böden beigetragen hat. Die Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen haben bereits zu einer verstärkten Auswaschung mobiler Schwermetalle wie Cadmium aus den Auflage- und obersten Mineralbodenschichten geführt.

Auf tiefgründigen Böden kann, sofern die Versauerungsfront noch nicht tiefgründig vorgezogen ist, von einer Immobilisierung der Schwermetalle im Unterboden ausgegangen werden. Die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel haben jedoch aufgezeigt, dass sich die Versauerungsfronten auf nahezu allen BDF-Flächen im Wald bereits in größere Bodentiefen verlagert haben. Insofern kann es unter Umständen zu einer Grund- bzw. Trinkwasserbelastung kommen. So ist auch bei flachgründigen Böden oder Böden mit hohem Grundwasserstand die Filterstrecke kurz. Gegebenenfalls reicht bei solchen Böden die Puffer-/Filterleistung der Unterböden nicht aus, um einen Schadstoffeintrag in das Grundwasser zu vermeiden.

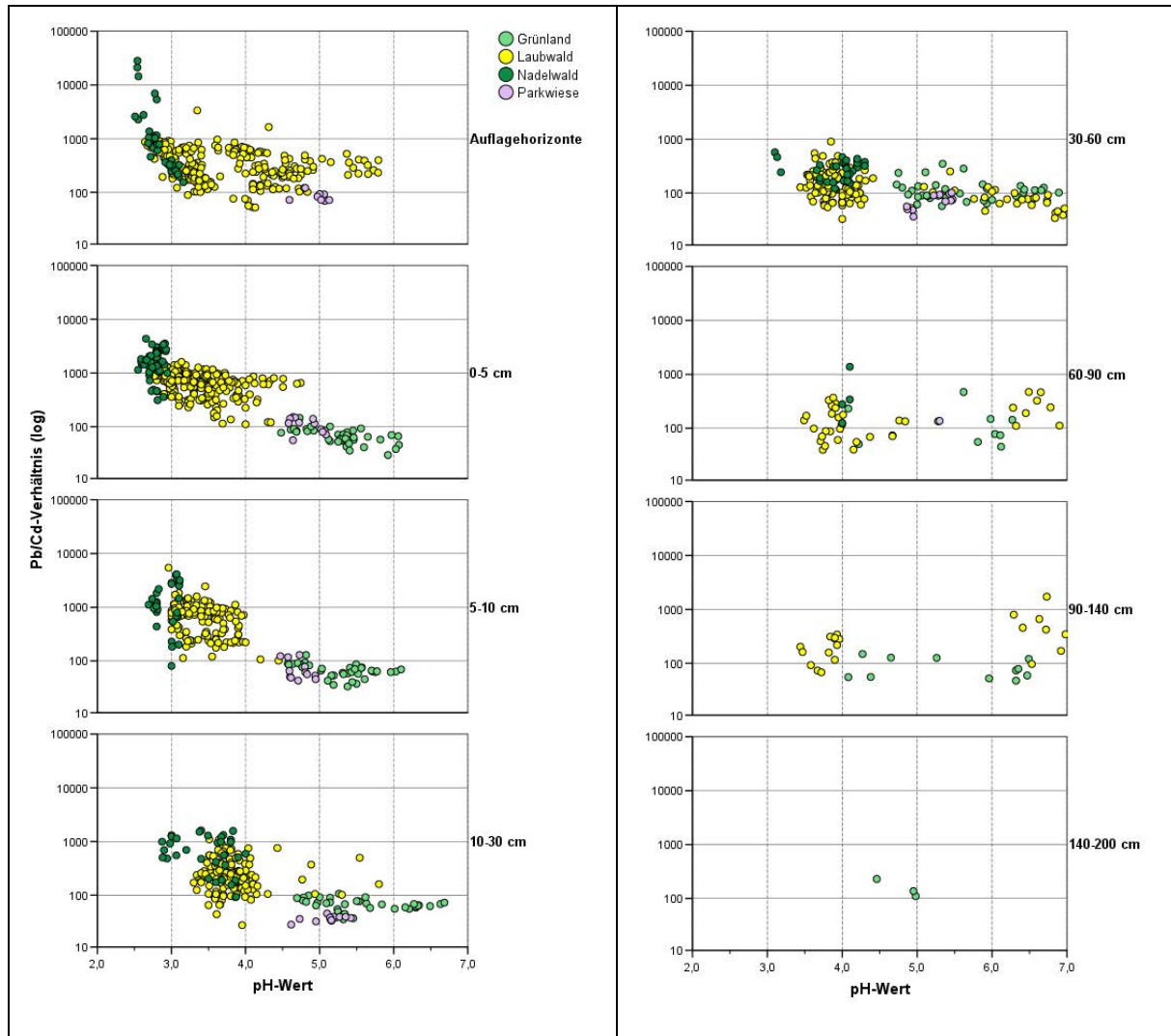


Abb. 3-16: Veränderung des Blei:Cadmium-Verhältnisses (logarithmische Skala) in Abhängigkeit vom pH-Wert in den verschiedenen Tiefenstufen der BDF

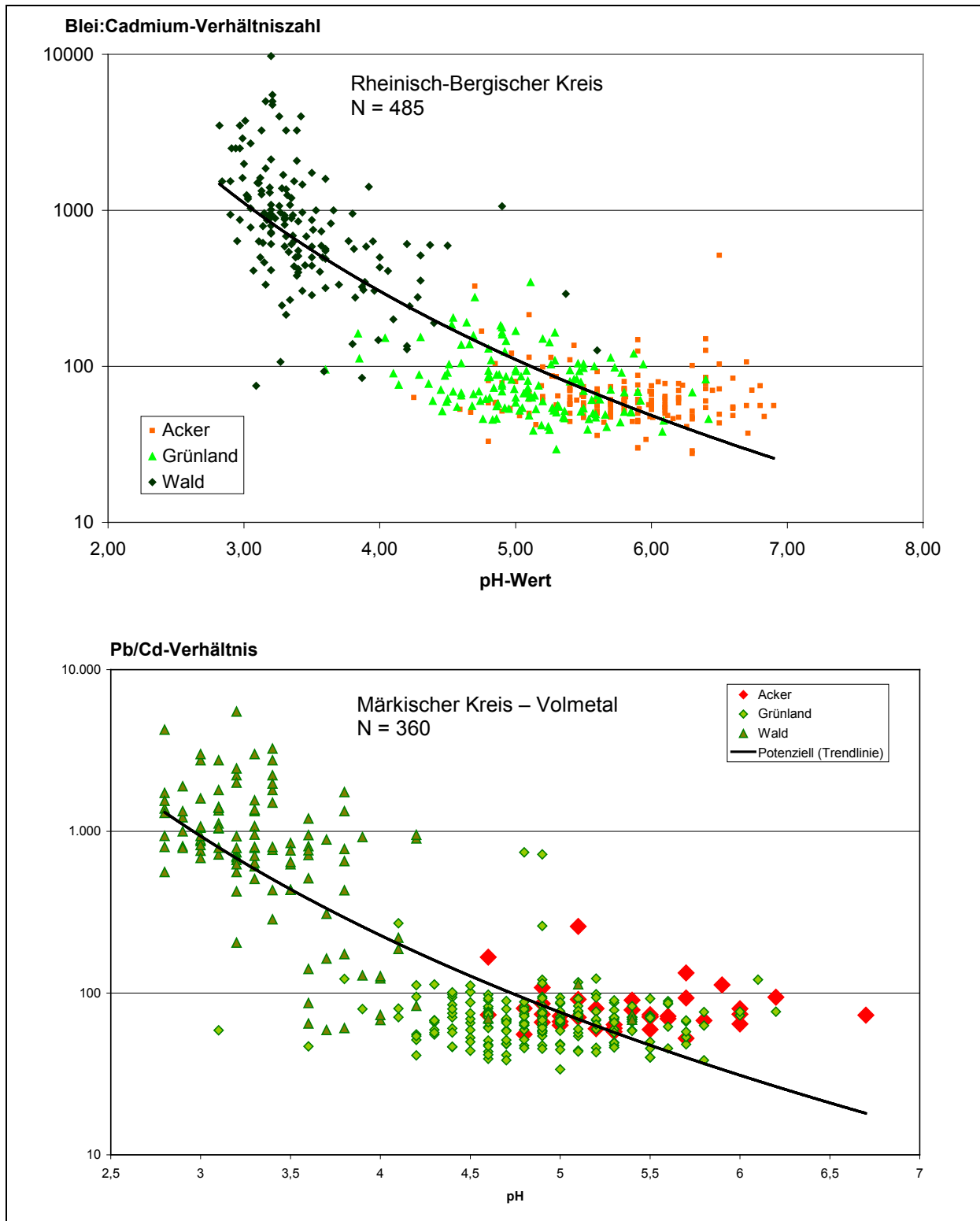


Abb. 3–17: Veränderung des Blei:Cadmium-Verhältnisses (logarithmische Skala) in Abhängigkeit vom pH-Wert in der obersten Mineralbodenschicht (Wald 0-5 cm; Grünland: 0-10 cm; Acker: 0-30 cm)

Daten: Bodenbelastungskarten des Rheinisch-Bergischen Kreises, Märkischen Kreises und Kreises Olpe

→ Fortsetzung

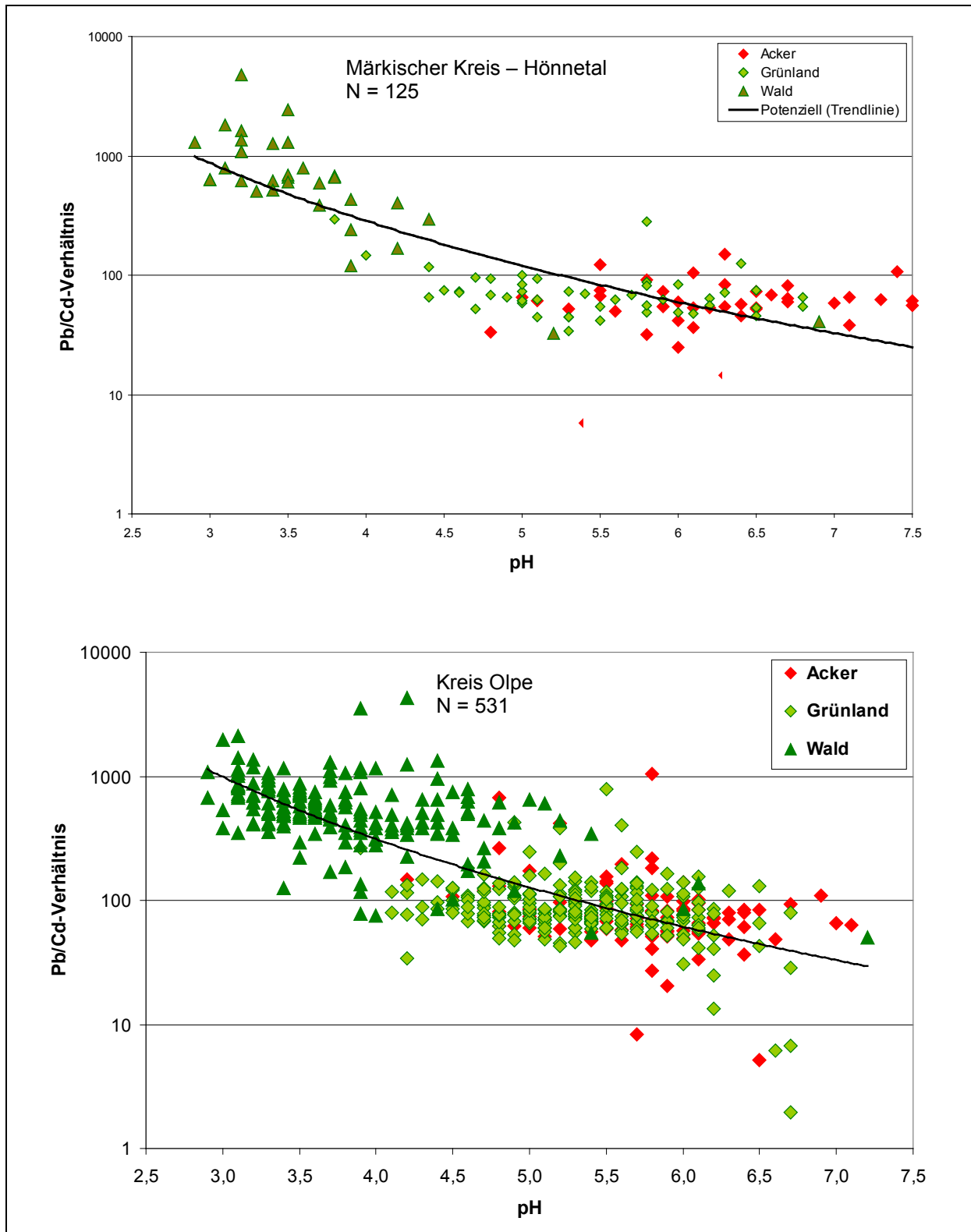


Abb. 3–17: Veränderung des Blei:Cadmium-Verhältnisses (logarithmische Skala) in Abhängigkeit vom pH-Wert in der obersten Mineralbodenschicht (Wald 0-5 cm; Grünland: 0-10 cm; Acker: 0-30 cm)

Daten: Bodenbelastungskarten des Rheinisch-Bergischen Kreises, Märkischen Kreises und Kreises Olpe

3.5 Substrateinfluss

3.5.1 Ausgangsgesteine

Die bodenchemische Bodeneigenschaften werden im starken Maße durch die Ausgangsgesteine und die damit verbundenen Bodenarten bestimmt (u. a. HUSCHEK et al. 2004, DÜWEL et al. 2007, UTERMANN et al. 2010, SCHILLI et al. 2011).

Angesichts der großen Bedeutung der Ausgangsgesteine sind die BDF-Ergebnisse auf systematische Einflüsse derselben untersucht worden. Dazu wurden in Abstimmung mit dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen die folgenden fünf Gruppen ähnlicher Bodenausgangsgesteine gebildet (siehe Anhangkap. 7.2):

- Frostbodenbildungen und Eisablagerungen über basenreichen, meist karbonathaltigen Locker- und Festgesteinen
- Frostbodenbildungen über basenarmen Locker- und Festgesteinen
- Löss über basenarmen Lockergesteinen
- Spätglaziale bis holozäne Bach- und Flussablagerungen
- Verschiedene Bodenausgangsgesteine, die nur auf einzelnen BDF anstehen.

Diesen Gruppen unterschiedlicher Ausgangssubstrate wurden die BDF-Standorte zugeordnet. Für die ersten vier Gruppen stehen genügend Daten für eine Auswertung zur Verfügung. In Abb. 3–18 ist der Tiefengradient der pH-Werte für diese vier Gruppen unterschiedlicher Ausgangsgesteine dargestellt. Deutlich hebt sich der Tiefengradient der Gruppe der Frostbodenbildungen und Eisablagerungen über basenreichen, meist karbonathaltigen Locker- und Festgesteinen von denen der anderen Gruppen ab. Bis zur Tiefenstufe 10-30 cm liegen die pH-Werte überwiegend zwischen 3 und 4. Ab der Tiefenstufe 30-60 cm steigt der pH-Wert sprunghaft an und reicht in der Tiefenstufe 90-140 cm bis in den neutralen Bereich.

Im Gegensatz dazu schwanken die pH-Werte bei den BDF auf Frostbodenbildungen über basenarmen Fest- und Lockergesteinen und auf Löss bis in eine Bodentiefe von 30 cm um pH 3 und steigen dann auf Werte um pH 4 an. Im Tiefenbereich 30-90 bzw. 30-140 cm ist keine weitere wesentliche Differenzierung des pH-Wertes erkennbar.

Die Bodenbildungen auf spätglazialen bis holozänen Bach- und Flussablagerungen sind durch kontinuierlich ansteigende pH-Werte mit zunehmender Bodentiefe gekennzeichnet. So steigen die Werte von rund pH 3-3,5 in der Tiefenstufe 0-2 cm auf rund pH 4,2-4,7 in der Tiefenstufe 60-90 cm an (jeweils Interquartilabstand).

Entsprechende Auswertungen für die Schwermetallgehalte lassen keinen Substrateinfluss erkennen. Dieses Ergebnis wird vornehmlich auf die geringe Anzahl der BDF-Standorte zurückzuführen sein. Weiterhin werden auch Standortheterogenitäten innerhalb einzelner BDF, die keine eindeutige Zuordnung zu einer Gruppe der Bodenausgangssubstrate erlaubt, die Identifizierung möglicher Substrateinflüsse auf die Schwermetallgehalte erschweren.

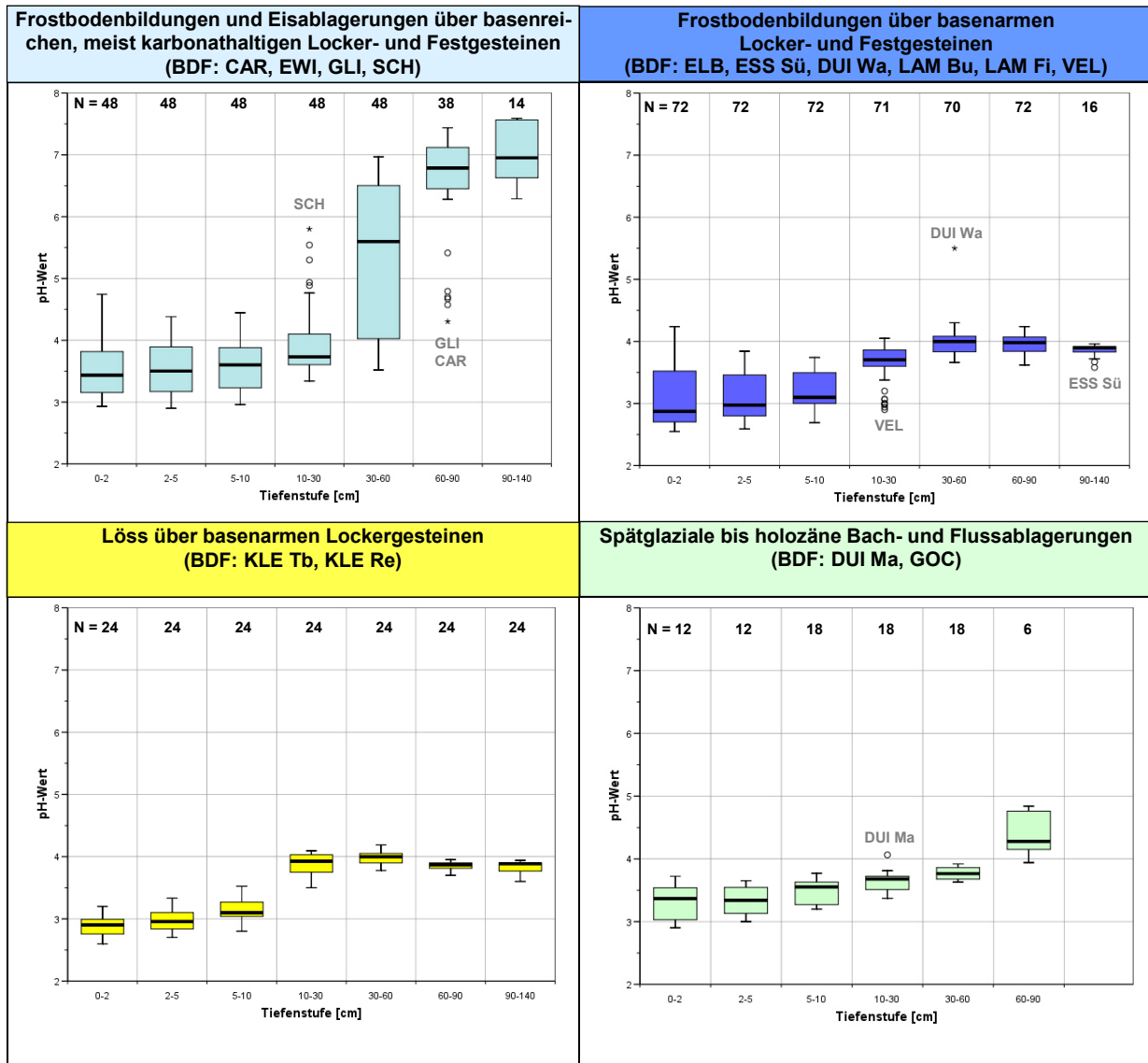


Abb. 3–18: pH-Tiefengradient bei unterschiedlichen Ausgangssubstraten der Bodenbildung*

* **Anmerkungen:** Datengrundlage: Feldparallelen der Erst- und Zweitbeprobung. In den Grafiken nicht dargestellt sind folgende Standorte/Beprobungstiefen:

Substratgruppe 2: Von den Regeltiefen abweichende Beprobungstiefen (10-20, 20-30, 30-40, 40-60 cm) sind ausgeschlossen; betrifft nur Standort VEL, für den aber die Standardbeprobungstiefen auch vorliegen.

Substratgruppe 4: DUI Ma → ausgeschlossen Beprobungstiefen 0-5 und 60-110 cm der Erstbeprobung (Abweichung Beprobungstiefen); ausgeschlossen DUI Bi (Parkwiese)

Substratgruppe 5: restliche BDF (BOT, HAA) auf anderen Ausgangssubstraten (s. Anhangkap. 7.2).

Grünlandstandorte: LÜK, LAM a, HAA a ausgeschlossen, damit keine Nutzungseinflüsse den Substrateinfluss überlagern.

3.5.2 Tongehalt bzw. Bodenarten

Die Tongehalte bzw. Bodenartenhauptgruppen zeigen häufig charakteristische Einflüsse auf die Schadstoffgehalte. Steigende Tongehalte bzw. eine zunehmende Bindigkeit der Bodenarten sind regelmäßig mit steigenden Schadstoffgehalten korreliert (u. A. HUSCHEK et al. 2004, SCHILLI et al. 2011). Abb. 3–19 zeigt anhand der Bleigehalte der Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe, ob auch an Hand der BDF-Daten Zusammenhänge zum Ton-Gehalt bzw. der Bodenartenhauptgruppe erkennbar sind.

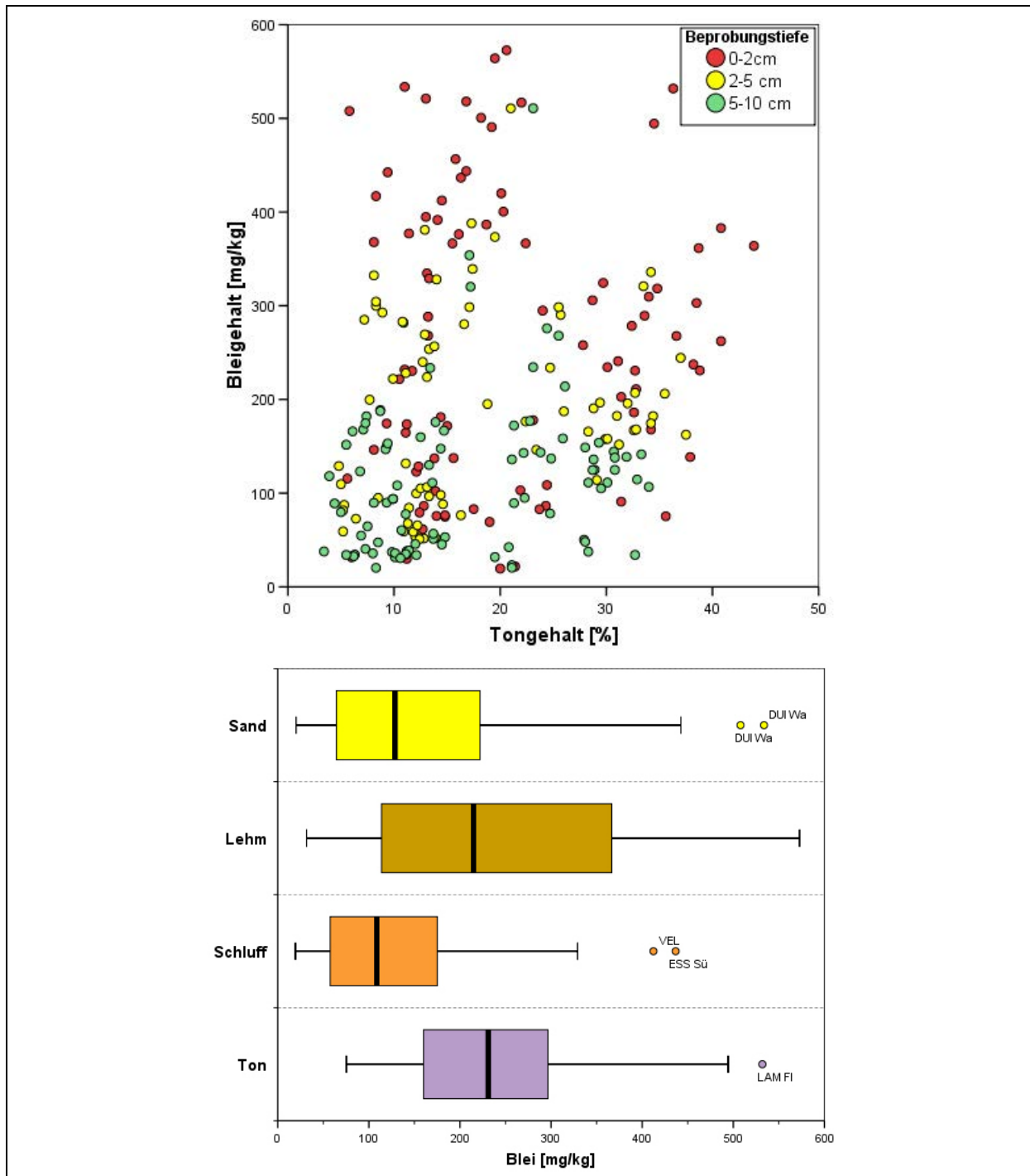


Abb. 3–19: Bleigehalte der Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe in Abhängigkeit vom Ton-Gehalt bzw. der Bodenartenhauptgruppe (n = 254 Datenpaare)

Zum Tongehalt kann allenfalls ein sehr lockerer Zusammenhang festgestellt werden. Ähnlich verhält sich der Zusammenhang der Bleigehalte zu den Bodenartenhauptgruppen. Zwar steigen die Bleigehalte tendenziell von den sandigen Bodenproben zu den tonigen Bodenproben an. Diese tendenziellen Unterschiede der Bleigehalte, die hier stellvertretend für die anderen Schadstoffgehalte stehen, sind jedoch fachlich nicht vollständig plausibel und statistisch absicherbar. Zum einen verhalten sich die Schluffböden des BDF-Datensatzes abweichend von der Erwartung; diese zeichnen sich durch geringere Bleigehalte aus als die Sandböden. Zum anderen überlappen sich die Box-Whisker-Plots der verschiedenen Bodenartenhauptgruppen sehr deutlich, so dass nicht von statistisch signifikanten Unterschieden ausgegangen werden kann.

Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die erwartenden Einflüsse des Tongehaltes bzw. der Bodenarten auf die Schadstoffgehalte auf den BDF durch Immissions- und andere Standortunterschiede überprägt werden.

3.6 Nutzungseinfluss

3.6.1 BDF-übergreifende Ergebnisse

Zwischen landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Böden treten im Regelfall deutliche Unterschiede im Schadstoffstatus auf. Dies ist vorwiegend auf die höhere Stoffeinträge in Waldböden aus der Atmosphäre zurückzuführen, so dass Waldböden bei ansonsten gleichen Standortbedingungen zumeist höhere Schadstoffgehalte aufweisen als landwirtschaftlich genutzte Böden⁹. Erwartungsgemäß spiegeln auch die Grünland- und Wald-BDF in Nordrhein-Westfalen diesen allgemeinen Nutzungsunterschied wider (Abb. 3–20 oben). Am Beispiel der dargestellten, schichtübergreifenden Bleigehalte bis 10 cm Tiefe wird deutlich, dass die Wald-BDF mittlere Gehalte (Medianwerte) um rund 150 mg Pb/kg aufweisen, wohingegen die Grünland-BDF nur rund 40 mg Pb/kg aufweisen. Vergleichbare Unterschiede im Schadstoffstatus der Grünland- und Wald-BDF Nordrhein-Westfalens sind auch bei einer Betrachtung einzelner Tiefenstufen erkennbar (Abb. 3–20 unten).

Gleichwohl stellt sich bei mobilen Schadstoffen ein umgekehrtes Verhältnis ein. Hier sind die Waldböden im Regelfall durch niedrigere Schadstoffgehalte charakterisiert als Acker- oder Grünlandböden. Besonders deutlich ist dies bei Cadmium und Zink der Fall, abgeschwächt auch bei Nickel. Die niedrigeren Gehalte mobiler Schadstoffe sind der deutlichen Versauerung der Waldböden geschuldet, die zu erhöhten Auswaschungsverlusten aus diesen Böden führen (Kap. 3.4).

⁹ Der Nutzungseinfluss beschränkt sich beim BDF-Programm Nordrhein-Westfalens im Wesentlichen auf die erhöhten Schadstoffeinträge unter Wald (Auskämmeffekte auf Grund der größeren Vegetationsoberfläche im Vergleich zu Grünland). Die Bodenbearbeitung als weiterer Nutzungseinfluss bei Ackerböden ist unbedeutend, weil keine Acker-BDF untersucht werden.

Die angesprochenen Nutzungsunterschiede können auch anhand der NRW-Hintergrundwerte nachvollzogen werden (http://www.lanuv.nrw.de/boden/bodenschutz/HGW_Internet_2003-3.pdf).

Die ebenfalls untersuchte Parkwiese bei DUI Bi hebt sich sehr stark vom sonstigen Datenkollektiv ab. In Folge der besonderen Emissionssituation an dieser BDF liegt der Median bei ca. 360 mg Pb/kg. In diesem Ergebnis spiegelt sich demnach der Emissions- und nicht der Nutzungseinfluss wider.

Zwischen den untersuchten Wald-BDF im Laub- und Nadelwald lassen sich angesichts des beschränkten Datenumfangs keine Unterschiede im Schadstoffstatus erkennen.

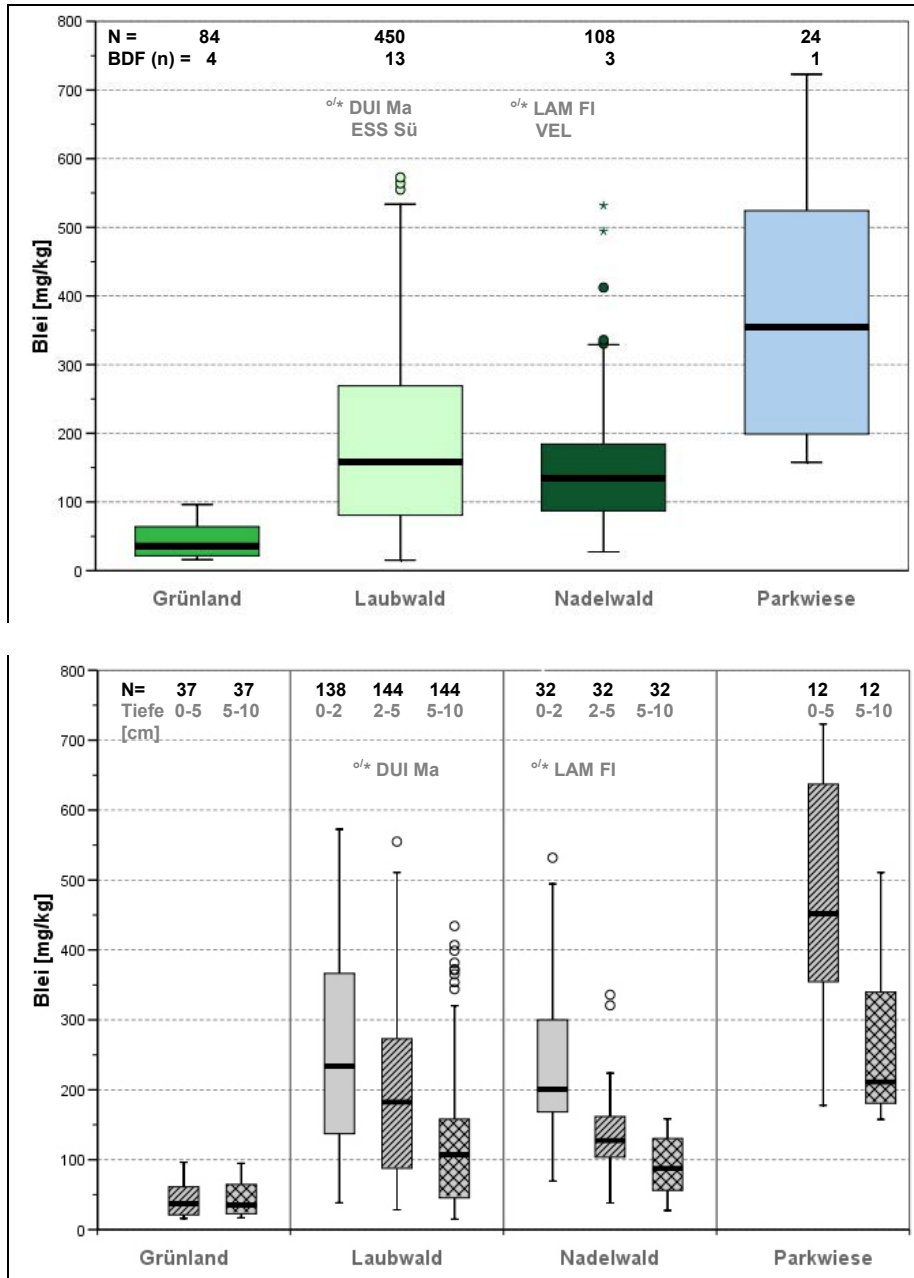


Abb. 3–20: Mittelwerte der Bleigehalte bis 10 cm Tiefe aller BDF differenziert nach der Nutzung. Oben: schichtübergreifend. Unten: getrennt für die einzelnen Tiefenstufen (o/* = Ausreißer- bzw. Extremwerte)

3.6.2 Vergleich der Wald-BDF mit den Grünland-BDF

Im BDF-Programm Nordrhein-Westfalens wurden für die Wald-BDF Haard, Kleve und Lamersdorf entsprechende Referenz-BDF auf benachbarten Grünlandstandorten eingerichtet. Die Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen werden in Abb. 3–21 beispielhaft anhand der mittleren pH-Werte sowie der mittleren Arsen-, Cadmium- und Bleigehalte der Tiefenstufe 0-2 cm dargestellt.

Unterschiede bei den pH-Werten der Wald und Grünland-BDF sind gut zu erkennen. Während die ausgewählten Wald-BDF mittlere pH-Werte um 3 aufweisen, zeichnen sich die Grünland-BDF durch mittlere pH-Werte um 5 aus. Dieser nutzungsbedingte Unterschied geht auch aus den Auswertungen in Kap. 3.6.1 hervor.

Bei den betrachteten anorganischen Schadstoffen sind charakteristische Unterschiede festzustellen. Die Grünlandstandorte weisen etwa die Hälfte der Arsengehalte der Waldstandorte auf. Noch größer sind die Unterschiede beim Blei; hier liegen die Bleigehalte der Waldstandorte bis zum Fünffachen und mehr über denen der Grünlandstandorte. Diese Unterschiede sind insbesondere auf die deutlich höheren Depositionsraten im Wald zurückzuführen.

Anders stellt sich die Situation beim Cadmium als Vertreter der mobilen Schwermetalle dar. Die höheren Cadmiumgehalte werden auf den Grünlandstandorten angetroffen, wobei standörtlich deutliche Unterschiede auftreten. Die geringeren Cadmiumgehalte in Waldböden sind nicht Ausdruck geringerer Cadmiumeinträge aus der Atmosphäre, sondern sind vielmehr auf die verstärkte Auswaschung in Folge der extremen Versauerung der Waldböden zurückzuführen (vgl. Kap. 3.4).

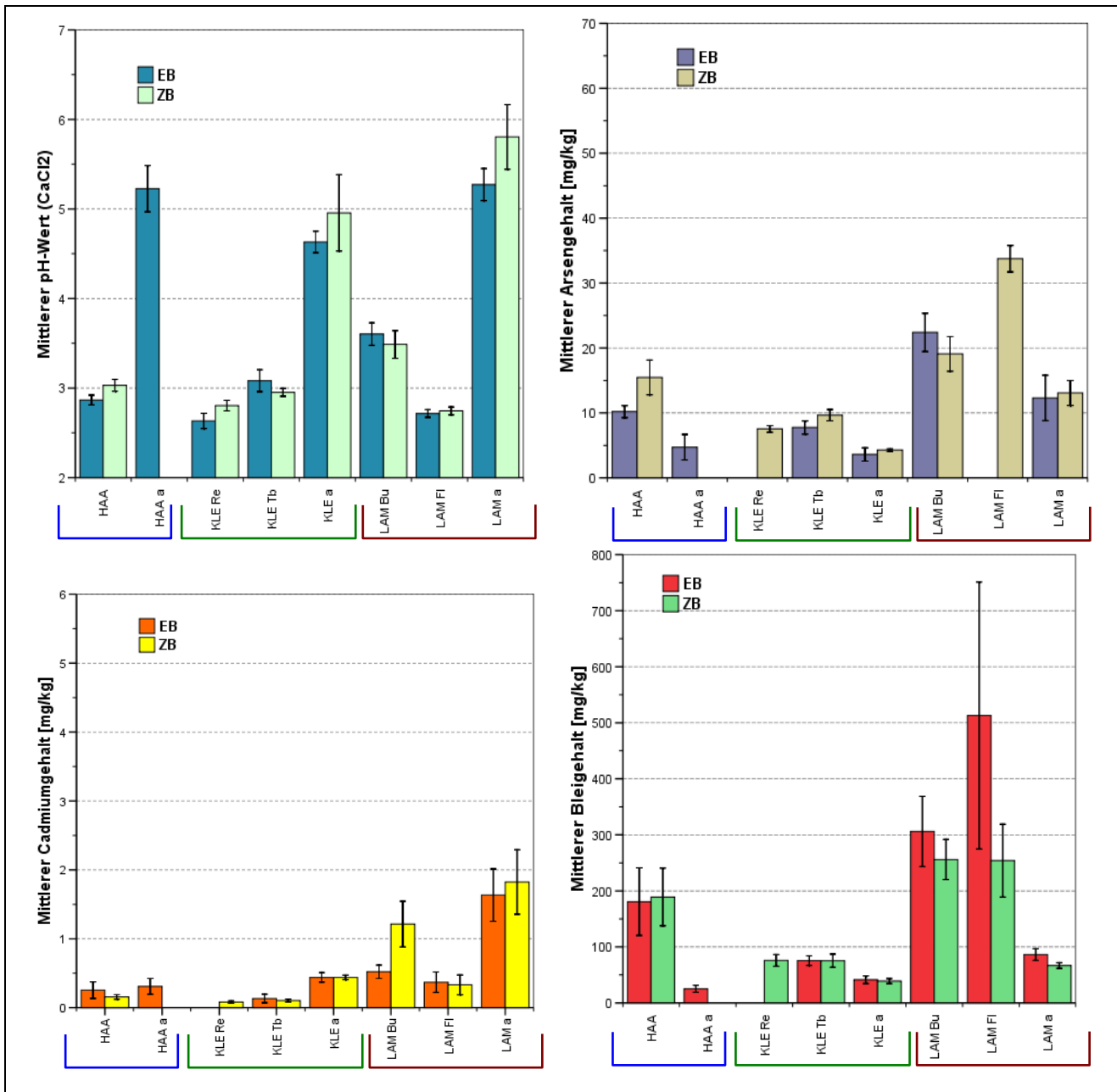


Abb. 3-21: Vergleich der mittleren pH-Werte sowie der As-, Cd- und Pb-Gehalte der obersten Tiefenstufe 0-2 cm für die Wald-BDF HAA, KLE und LAM mit den jeweiligen Grünland-Referenzstandorten (0-5 cm); N=6 Feldparallelen für beide Erhebungen (EB = Erstbeprobung, ZB = Zweitbeprobung)

3.7 Humusparameter

3.7.1 Veränderungen der Humusparameter

Der Humusgehalt und -qualität ist u. a. auf Grund des Klimawandels verstärkt in den Fokus bodenschutzfachlicher Untersuchungen gerückt. Höhere Bodentemperaturen als Folge des Klimawandels können zu einem verstärkten Humusabbau beitragen (MKULNV 2010). Auswertungen vorliegender Bodenuntersuchungen der vergangenen Jahrzehnte lassen vermuten, dass der Humusgehalt landwirtschaftlich genutzter Böden bereits abnimmt (PREGER et al. 2006, CAPRIEL & SEIFFERT 2009). Auslöser hierfür ist jedoch nicht nur der Klimawandel. Auch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung hat sich geändert. Eine geringere Anbauvielfalt und zurückgehende Viehhaltung in einigen Regionen Nordrhein-Westfalens tragen wahrscheinlich ihrerseits dazu bei, dass die Humusgehalte zurückgehen.

Angesichts der Untersuchungsergebnisse für landwirtschaftlich genutzte Böden stellt sich die Frage, ob bei Waldböden ebenfalls abnehmende Humus- bzw. C_{org} -Gehalte beobachtet werden können. Anhand der Ergebnistabellen im Anhangkapitel 7.3 fallen einige qualitativen Unterschiede zwischen der Erst- und Zweituntersuchung auf.

Beispielsweise sind die C_{org} -Gehalte der Zweituntersuchung an den BDF CAR, BOT, VEL oder LAM Fi im Vergleich zur Erstuntersuchung überwiegend niedriger. Umgekehrt liegen höhere C_{org} -Gehalte bei der Zweituntersuchung an den BDF KLE Tb, GLI, HAA und SCH vor. Andere BDF zeigen keine Änderungen im C_{org} -Gehalt oder verhalten sich uneinheitlich in den einzelnen Tiefenstufen.

Weiterhin können auch Unterschiede im C/N-Verhältnis ausgemacht werden. So nehmen die C/N-Verhältnisse des Mineralbodens der BDF KLE Re, VEL, ELB, HAA, SCH, DUI Wa, ESS Sü, BOT und DUI Bi zu.

Um mögliche zeitliche Entwicklungen aufzuspüren, werden beispielhaft die Ergebnisse der BDF DUI Wa, HAA und KLE Re in Abb. 3–22 detaillierter dargestellt. Aufgeführt sind sowohl die Analyseergebnisse der Erst- und Zweituntersuchung für C_{org} und N_t als auch das daraus berechnete C/N-Verhältnis. Weiterhin wird die relative Änderung der Parameterwerte zwischen Zweit- und Erstuntersuchung abgebildet. Bei allen drei ausgewählten BDF ist das C/N-Verhältnis sowohl in der Tiefenstufe 0-2 cm als auch in 2-5 cm in der Zweituntersuchung größer als in der Erstuntersuchung. Ausschlaggebend für diese Aufweitung des C/N-Verhältnisses sind einerseits höhere C_{org} -Gehalte bei DUI Wa und HAA, aber auch niedrigere N_t -Gehalte bei KLE Re in beiden Tiefenstufen und bei DUI Wa in der Stufe 2-5 cm.

Weder die exemplarisch detaillierter betrachteten Ergebnisse in Abb. 3–22 noch die Betrachtung der Humusparameter aller BDF (Ergebnistabellen im Anhangkapitel 7.3 u. 7.5) lassen derzeit eine signifikante Veränderung zwischen der Erst- und Zweituntersuchung erkennen.

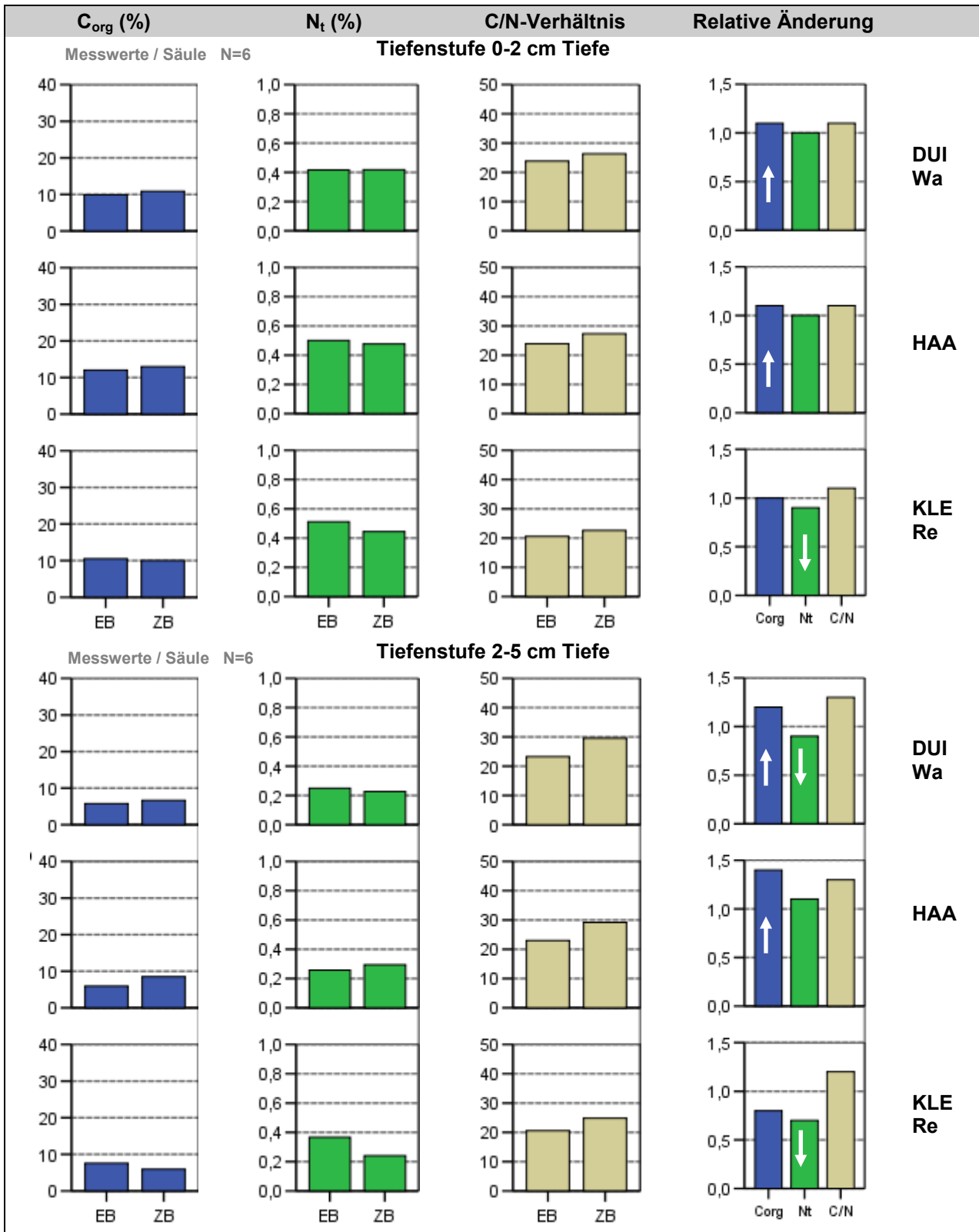


Abb. 3–22: Mittlere Humuskennwerte der BDF DUI Wa, HAA und KLE Re der Tiefenstufen 0-2 und 2-5 cm beider Beprobungstermine sowie deren relative Änderung (Erstbeprobung = 100 % bzw. Relativwert 1). Pfeile in der Spalte „Relative Änderung“ beziehen sich auf maßgeblich relative Änderungen beim C_{org} und N_t, die Verschiebungen beim C/N-Verhältnis bedingen. Nach oben gerichtete Pfeile stehen für relative Zunahmen, die nach unten gerichteten Pfeile für relative Abnahmen der C_{org} bzw. N_t-Gehalte bei der Zweit- im Vergleich zur Erstuntersuchung.

3.7.2 Einfluss der C_{org} -Gehalte auf die Schadstoffgehalte

Die C_{org} - und Schadstoffgehalte sind häufig stark positiv miteinander korreliert. Dieser Zusammenhang basiert auf dem hohen Anteil an Bindungsplätzen der organischen Substanz, so dass Schadstoffe in humusreichen Böden stärker angereichert werden.

Dieser Zusammenhang tritt bei den BDF-Ergebnissen nicht deutlich hervor. Abb. 3–23 zeigt beispielhaft die Bleigehalte der Wald-BDF – differenziert nach den Tiefenstufen 0-2, 2-5 und 5-10 cm – in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt. Der grundsätzliche Zusammenhang ist zwar sowohl schichtübergreifend als auch für die drei ausgewählten Tiefenstufen erkennbar, jedoch ist der Zusammenhang zwischen den C_{org} - und dem Bleigehalten augenfällig eher als locker zu bezeichnen. Der erwartete engere Zusammenhang wird offensichtlich durch Immissions- und andere Standortunterschiede überprägt.

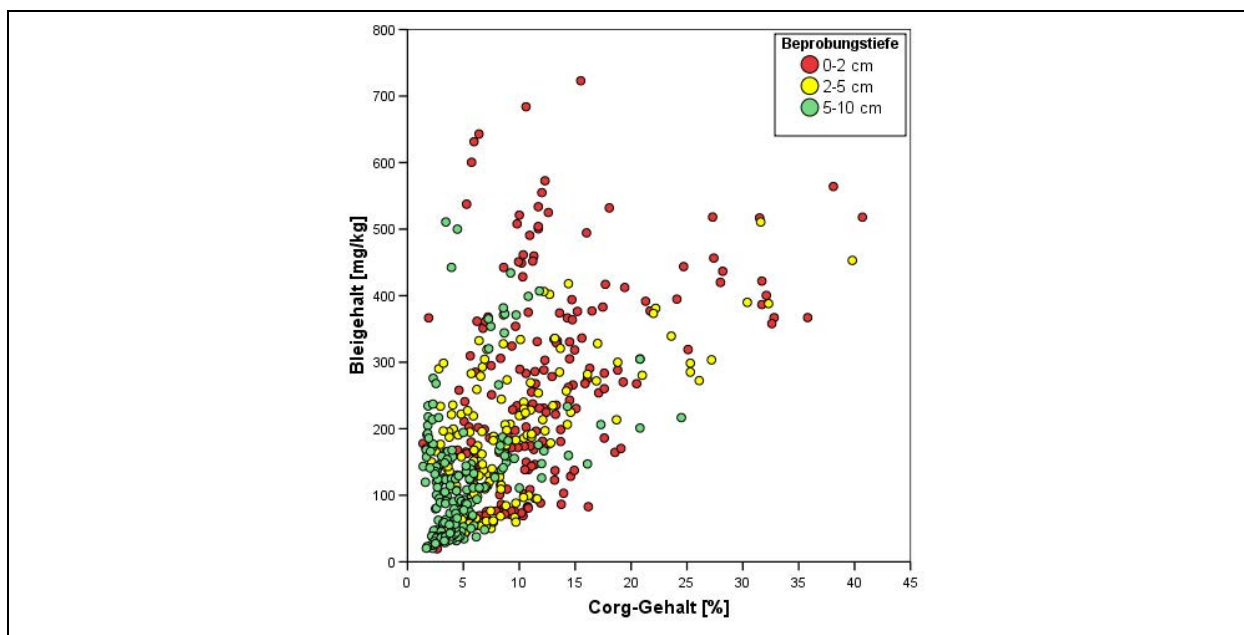


Abb. 3–23: Bleigehalte der Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (Wald-BDF, n = 547 Datenpaare)

4 Vergleich mit Ergebnissen anderer Bundesländer

4.1 Einleitung

Während in Nordrhein-Westfalen belastungssensible Standorte im Vordergrund stehen, zielen die BDF-Konzepte in anderen Bundesländern häufig auf eine boden-, landschafts-, nutzungs- und belastungsrepräsentativen Erfassung des Bodenzustands ab. Damit folgen sie dem „Konzept zur Erstellung von Bodeninformationssystemen“, welches im Jahr 1987 von der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz (SAG) veröffentlicht wurde. 1991 folgte das Konzept zur bodenkundlichen Dauerbeobachtung als Teilbereich des Umwelt-Monitorings (SAG 1991). Auch eine Ad-hoc-AG der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) formulierte Empfehlungen für ein bundeseinheitliches Vorgehen (LABO 2000).

4.2 Länderübergreifende Auswertungen

Erste länderübergreifende Auswertung aus 2001

Die erste länderübergreifende Auswertung der BDF-Daten erfolgte durch SPATZ (2001). Zu diesem Zeitpunkt stand noch die Datensammlung und -aufbereitung im Vordergrund. Als ein wesentliches Ergebnis dieser ersten Auswertung verwies der Autor auf den nötigen Abstimmungsbedarf der BDF-Programme der Bundesländer zwecks übergreifender Auswertungen. Darüber hinaus erfolgte eine erste Testauswertung der Cadmiumgehalte und -vorräte landwirtschaftlicher Oberböden (A-Horizonte). Als Datengrundlage dienten die BDF-Programme aus Brandenburg, Baden-Württemberg und Sachsen mit insgesamt 157 BDF-Standorten. Für andere Nutzungen und Bodenschichten standen damals noch nicht ausreichend Daten zur Verfügung. Die Cadmiumgehalte der Ap-Horizonte der Acker-BDF schwankten zwischen 0 und 1,43 mg/kg (Median 0,15 mg/kg). In den Grünland-Ah-Horizonten lagen die Cadmiumgehalte bei 0 – 4,76 mg/kg (Median 0,35 mg/kg). Für die Ap-Horizonte der Acker-BDF wurden Cadmiumvorräte zwischen 0 und 8.382 g/ha (Median 438 g/ha) ermittelt. Für die Grünlandoberböden wurden keine Vorräte berechnet.

Zweite länderübergreifende Auswertung aus 2004

Auf einen bereits umfänglicheren Datensatz konnten HUSCHEK et al. (2004) zurückgreifen. Die Autoren führten umfangreiche univariate Auswertungen des BDF-Datenbestandes durch. Unter anderem wurde ein Vergleich der BDF-Schwermetallgehalte zu den Hintergrundwerten (HGW) der LABO (2003) differenziert nach Nutzung und Bodenausgangsgesteinsgruppen in ihrer Klassifikation nach UTERMANN et al. (1999) vorgenommen. Die Übereinstimmung ist für alle Gesteinsgruppen und Parameter sehr gut. Die Stoffgehalte der BDF-Standorte liegen im Bereich der HGW. Generell trat auch wie erwartet eine Abstufung der Schwermetallgehalte bei den Bodenarten-Hauptgruppen Sand < Lehm/Schluff < Ton auf. Damit konnte auch auf Bundesebene bestätigt werden, dass die BDF-Programme den Anforderungen der Repräsentativität genügen.

Dritte länderübergreifende Auswertung aus 2011

SCHILLI et al. (2011) führten die bisher umfangreichsten länderübergreifenden Auswertungen der BDF-Daten der Länder durch. Trotz der nunmehr zum Teil schon mehr als 20 Jahre währenden BDF-Programme einzelner Bundesländer kommen SCHILLI et al. noch zu der Schlussfolgerung, dass Trendanalysen für chemische Parameter aufgrund der bisher vorliegenden wenigen Wiederholungsuntersuchungen nicht immer möglich sind. Insbesondere in Gebieten mit niedrigen Schadstoffgehalte und niedrigen Schadstoffeinträgen erwarten die Autoren eine erkennbare signifikante Veränderung der Schadstoffgehalte in der Festphase möglicherweise erst in mehreren Jahrzehnten. Angesichts dieser Einschätzung, dass Trends trotz einer im Vergleich zum BDF-Programm Nordrhein-Westfalens deutlich breiteren Datenbasis und deutlich längeren Zeitreihen in vielen Fällen noch nicht feststellbar sind, ist es nicht erstaunlich, dass mit Hilfe der Basis- und ersten Wiederholungsuntersuchungen der BDF-Standorte in Nordrhein-Westfalen zumeist noch keine signifikanten Veränderungen der Bodenparameter nachgewiesen werden können. Nach SCHILLI et al (2011) bestehen Schwierigkeiten bei der Untersuchung von Trends bei vielen Parametern in der hohen Variabilität der Analyseergebnisse, die u. a. aus Unterschieden bei der Durchführung der Wiederholungsbeprobungen (z. B. Differenzen bei der Abgrenzung von Auflage und Mineralhorizonten) oder aus einer hohen analytischen Messunsicherheit resultieren (DESAULES et al. 2010). Weiterhin sind auch Standortheterogenitäten in Betracht zuziehen, wenn erwartete Trends nicht oder nicht eindeutig nachgewiesen werden können (vgl. Kap. 3.1.4).

Dennoch liegen bereits einige Trenduntersuchungen vor. Aus Niedersachsen wird berichtet, dass für organische Schadstoffe mit steigender Laufzeit der BDF sinkende Konzentrationen und Vorräte in der Humusaufgabe und im oberen Mineralboden an Einzelstandorten von Waldflächen nachvollzogen werden können (FORTMANN & MEESENBURG 2007) (vgl. Kap. 4.4.3). In Bayern konnten an einigen Standorten zurückgehende Gehalte der Radionuklide Cäsium 137 und Strontium 90 ermittelt werden (HENKELMANN et al. 2005). Aus Bayern wird auch von tendenziell zurückgehenden Humusgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden berichtet (vgl. Kap. 4.4.2). Das LUBW (2008) aus Baden-Württemberg weist u. a. auf abnehmende Pb-Gehalte und Pb-Vorräte in Auflagehorizonten der Wald-BDF hin, die Folge geringerer Deposition sind. Ähnliches gilt auch für Sulfat.

Acker- und Forstflächen zeigen nach SCHILLI et al. (2011, S. 51f) mit Hilfe multivariater Auswertungen anscheinend eine gegenläufige Entwicklung bei den Schwermetallgehalten. Proben von Ackerflächen scheinen einen Trend zu tendenziell niedrigeren Schwermetallgehalten anzuzeigen. Für Proben von Waldstandorten zeichnen sich anhand der bundesweiten Datengrundlage generell steigende Gehalte im oberen Mineralboden ab. Solche steigenden Gehalte in A-Horizonten an Standorten unter forstwirtschaftlicher Nutzung wurden bereits häufiger beschrieben und auf hohe atmosphärische Einträge, unterstützt durch die Filterwirkung des Bestandes, zurückgeführt.

Diese sich bundesweite andeutende Entwicklung zu steigenden Schadstoffgehalten in Waldböden, der noch anhand weiterer Wiederholungsbeprobungen abgesichert werden muss, stände im Gegensatz zu den an den BDF-Standorten in NRW festgestellten abnehmenden Schadstoffgehalten. Die Schwermetallgehalten der Zweituntersuchung sind sogar signifikant niedriger als die der Erstuntersuchung.

Dieser Unterschied kann auf die abweichende Konzeption der BDF-Programme der Bundesländer zurückgeführt werden. Während an den Belastungs-BDF in Nordrhein-Westfalens aufgrund spezifischer Immissionsschutzmaßnahmen im Umfeld der BDF sinkende Schadstoffgehalte plausibel erscheinen, könnte bei den repräsentativen Messnetzen der anderen Bundesländer mit deutlich geringeren Ausgangsbelastungen ggf. eine ubiquitäre Immissionsbelastung aus der Atmosphäre zu weiter steigenden Schadstoffgehalten beitragen.

Zur Frage der Versauerung der Böden und deren zeitlichen Entwicklung führen SCHILLI et al. (2011) aus, dass die bisher geringe oder teilweise ausbleibende Wirkung des Depositionsrückgangs auf die Bodenversauerung zum einen auf die parallele Reduzierung von basisch wirkenden Einträgen und zum anderen auf die große Menge an z. B. gespeichertem SO_4 zurückgeführt werden kann. In ähnlicher Weise hat sich auch die LfU (2008) geäußert.

Neben den Trenduntersuchungen haben sich SCHILLI et al. (2011) anhand multivariater Analysen auch mit den Einflussfaktoren der Schadstoffbelastungen auseinandergesetzt. Die Autoren berichten, dass auf Basis der vorliegenden bundesweiten Daten das Ausgangsgestein der Bodenbildung und damit verbunden die Bodenart die dominierenden Faktoren für die Schwermetallgehalte sind. Die Schwermetallgehalte steigen mit feiner werdender Bodenart an. Der von den Autoren ermittelte starke Einfluss des Ausgangsmaterials erklärt auch, warum der pH-Wert keine erkennbare Auswirkung auf den Gehalt an Schwermetallen der mineralischen Proben hat. Ein Einfluss der Flächennutzung auf den Gehalt an Schadstoffen wird ebenfalls von den Ausgangsmaterialien überprägt. Ggf. deuten diese unerwartenden Ergebnisse der Ursachenanalyse auch auf die Grenzen bundesweiter Auswertungen hin. Bei der Auswertung sehr heterogener Datensätze können fachlich unzweifelhafte Zusammenhänge insbesondere auf Grund der hohen Wertestreuung maskiert werden.

4.3 Auswirkungen der Versauerung

In Kap. 3.4 sind die Auswirkungen der atmosphärischen Säureinträge in Böden u. a. anhand der pH-Werte und Austauschbelegungen diskutiert worden. So konnte die zum Teil sehr tiefreichende Versauerungsfront und massive Beeinträchtigungen der Filter- und Pufferfunktionen der Waldböden für die untersuchten BDF-Standorte dokumentiert werden.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch die BDF-Programme anderer Bundesländer. Beispielhaft können die Untersuchungen aus Niedersachsen zitiert werden. Neben Stoffgehaltsuntersuchungen liegen aus Niedersachsen auch Stoffvorratuntersuchungen vor. MEESENBURG et al. (2002 und 2011) berichten über stark abnehmende Vorräte austauschbarer basischer Kationen im Mineralboden (Abb. 4–1). Im Zeitraum zwischen 1968 und 2010 nahmen die basischen Kationen im Mineralboden an Untersuchungsstandorten im Solling zwischen 0 und 50 cm um rund 60 % ab. Von anfänglich rund 35 kmol_c/ha sind heute nur noch rund 15 kmol_c/ha nachweisbar.

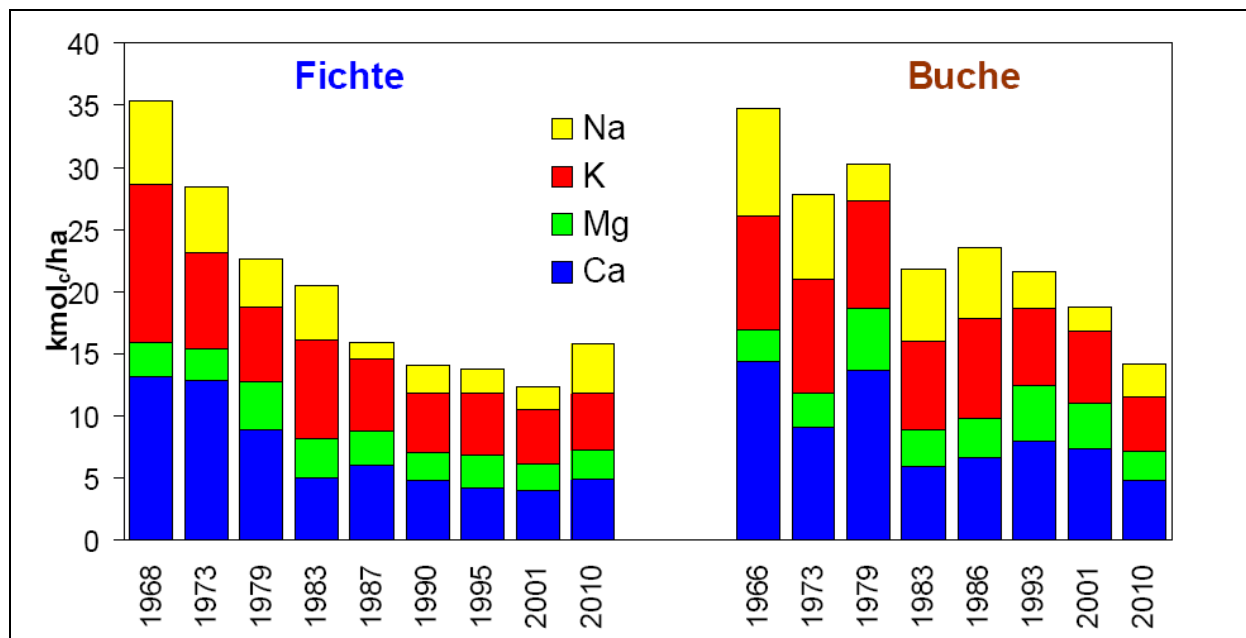


Abb. 4–1: Vorräte austauschbarer basischer Kationen im Mineralboden (0 – 50 cm) eines Buchen- und eines Fichtenbestandes im Solling zwischen 1968 und 2010 (MEESENBURG et al. 2002 und 2011)

Die Autoren führen mit Hinweis auf MEIWES et al. (2002) weiterhin aus, dass auf einigen BDF Nährstoffe in der Humusaufgabe akkumuliert werden und sich teilweise verdoppelt haben. In Abb. 4–2 sind beispielhaft die C- und N-Vorräte in der Humusaufgabe (Solling) aufgeführt; nach einer Akkumulationsphase bis Anfang der 1990er-Jahre sinken die Vorräte seit dem jedoch wieder kontinuierlich ab.

Als mögliche Ursache für die Humusakkumulation wird eine gehemmte Streuzersetzung diskutiert, die in Verbindung mit den erhöhten Stickstoffeinträgen gebracht wird. Bei der Ge-

samtbilanzierung der Nährstoffkationen hat insgesamt eine Verlagerung vom Mineralboden in die Humusauflage stattgefunden.

Vergleichbare Vorrats- und Bilanzauswertungen sollten bei den weiteren Untersuchungen der BDF-Standorte in Nordrhein-Westfalen in Betracht gezogen werden. Es empfiehlt sich, die verschiedenen Monitoringprogramme (LEVEL II, BZE Wald, BDF) in derartigen Auswertungen zusammenzuführen, um eine möglichst umfassende Datengrundlage nutzen zu können.

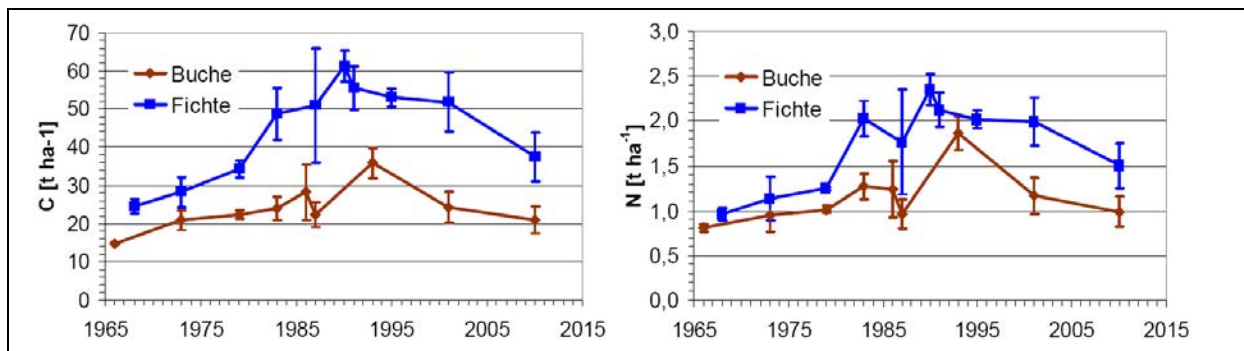


Abb. 4–2: C- und N-Vorräte in der Humusauflage (Solling) (MEESBURG et al. 2011)

4.4 Weitere für Nordrhein-Westfalen bedeutende Untersuchungsergebnisse anderer Bundesländer unter Berücksichtigung spezieller Aspekte

4.4.1 Schadstoffanreicherungen im Straßenrandbereich

Das Land Baden-Württemberg hat an der Bundesautobahn A5 eine Intensivmessstelle eingerichtet, um die verkehrsbedingten Schadstoffeinträge in den Boden zu erfassen (LUBW 2008). Täglich wird die A5 von rund 100.000 Fahrzeugen befahren.

Vom Fahrbahnrand bis 10 m Abstand existiert eine grünlandähnliche Vegetation, die auf einem umgelagerten Bodenmaterial mit neutralem Boden-pH wächst. Daran schließt sich eine Waldnutzung über Sandboden an (Abb. 4–3). Insofern sind unterschiedliche Schadstoffmobilitäten in den beiden Bilanzräumen 0 bis 10 m Abstand und 15 bis 20 m Abstand zu unterstellen.

Cadmium akkumuliert im Bilanzraum 0 bis 10 m mit ca. 10 g/(ha-a) im neutralen Ah-Horizont. Im versauerten Waldboden im Bilanzraum 15 bis 20 m stellt sich für die untersuchten Bodenhorizonte ein Fließgleichgewicht ein, allerdings mit einer Verlagerung des Cadmiums aus der Auflage und dem Ah-Horizont (0-10 cm) in den unterliegenden Al-Bv-Horizont (10 bis 30 cm). Aufgrund des quantitativen Rückhalts des in der Auflage und im Ah-Horizont mobilisierten Cd im oberflächennahen Unterboden ist derzeit keine Gefährdung des Grundwassers durch erhöhte Cd-Auswaschungen zu besorgen.

Der Bleivorrat verändert sich im Untersuchungszeitraum nicht mehr, ist aber auf Grund historischer Einträge auf einem hohen Niveau. Im Bilanzraum 0 bis 10 m sind je Kilometer rund 280.000 g Pb in einer Bodentiefe bis 30 cm gespeichert, die zu rund 90 % auf verkehrsbedingte Emissionen (Blei im Benzin) zurückgeführt werden können. Die derzeitige Stagnation der Bleivorräte spiegelt die bis 1989 erfolgte deutliche Reduzierung des Bleigehaltes im Benzin wieder. Im Bilanzraum 15 bis 20 m wird Pb im geringen Umfang aus der Auflage in den Ah-Horizont verlagert, dort aber wieder quantitativ festgelegt. Sowohl für den Bilanzraum 0 bis 10 m als auch für den Bilanzraum 15 bis 20 m werden die in der Vergangenheit eingetragenen Blei-Mengen in den Böden gespeichert und unterliegen selbst bei niedrigen pH-Werten praktisch keiner Verlagerung.

Weiterhin untersuchte das LUBW die Veränderungen der Gehalte von PAK, PCDD/F, PCB, Platin, Palladium, Rhodium und Antimon. Einzig für PAK können bedeutende Einträge in den Bilanzraum bis 10 m Abstand zum Fahrbahnrand nachgewiesen werden. Für die anderen Parameter lassen sich für den Untersuchungszeitraum keine eindeutigen Stoffbilanzen ableiten.



Abb. 4–3: Bilanzräume der Intensiv-BDF Bruchsal/Forst (Foto: © LUBW)

4.4.2 Entwicklung der Humusgehalte

Landwirtschafts-BDF in Bayern

Um Rückschlüsse zur langfristigen Entwicklung der Humusversorgung abzuleiten und eine Prognose zu stellen, werden in Bayern seit 1986 im Rahmen eines Bodenmonitorings regelmäßig Humusuntersuchungen auf ausgewählten repräsentativen landwirtschaftlich genutzten Flächen (92 Acker-, 21 Grünland- und 8 Sonderkulturstandorte) durchgeführt (CAPRIEL & SEIFFERT 2009).

Anhand der Messwerte ermitteln CAPRIEL & SEIFFERT (2009) eine Abnahme der mittleren C_{org} -Gehalte um etwa 3 % in den Acker- und Grünlandböden, wobei bei Ackerböden der Rückgang eindeutiger ausfiel als bei Grünlandböden (Abb. 4–4). Die Veränderungen sind allerdings statistisch nicht signifikant. Die Daten der Sonderkulturstandorte wurden nicht ausgewertet, so dass dazu keine Aussagen gemacht werden können.

Im Gegensatz zum C_{org} -Gehalt ist beim durchschnittlichen Nt-Gehalt keine abnehmende Tendenz erkennbar. Die Folge sind enger werdende C/N-Verhältnisse.

Die festgestellten Veränderungen des Humus- bzw. C_{org} -Gehaltes sind auf Fruchtfolge- und Düngungseffekte zurückzuführen. Rückläufige Viehbestände verringern die organische Düngung. Weiterhin trägt der stetige Umstrukturierungsprozess in der Landwirtschaft zu einer Verengung der Fruchtfolge, einem Rückgang des Ackerfutteranbaus und eine geringere Rückführung pflanzlicher Biomasse auf die Äcker – nicht zu letzt durch die gestiegene energetische Verwertung des Pflanzenaufwuchses – bei.

Ein Klimaeffekt konnte anhand der 30-jährigen Datenerhebung weder nachgewiesen noch ausgeschlossen werden. Nach Einschätzungen von CAPRIEL & SEIFFERT (2009) ist in Bayern bei gleich bleibender oder sogar abnehmender Zufuhr von organischer Substanz – insbesondere organischem Kohlenstoff – mit negativen Folgen für die Humusversorgung landwirtschaftlich genutzter Böden zu rechnen.

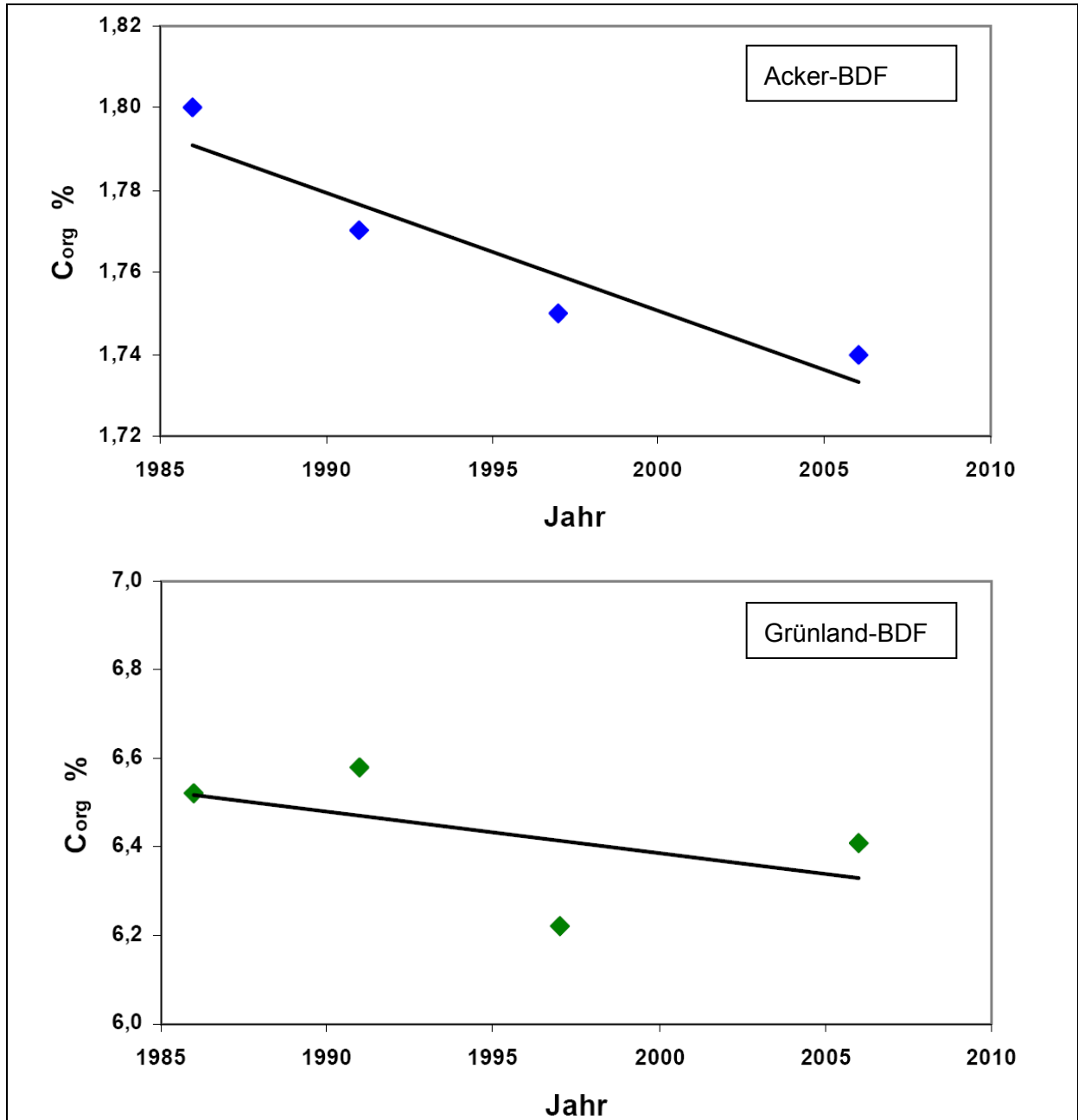


Abb. 4–4: Mittlere C_{org}-Gehalte der vier Beprobungsserien (Capriel & Seiffert 2009)

Wald-BDF in Niedersachsen

FLECK & HÖPER (2011) haben die Veränderungen der organischen Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden der niedersächsischen Wald-BDF ausgewertet (Abb. 4–5). An einigen BDF-Standorten sind deutlich sinkende Humusvorräte in der Humusauflage zu beobachten. Die veränderten Vorräte in der Humusauflage korrelieren mit den Veränderungen der Humusvorräte im Mineralboden. Jedoch sind die Veränderungen im Mineralboden weniger stark ausgeprägt. Zudem liegen die Veränderungen im Mineralboden zumeist innerhalb eines 10 %-Unsicherheitsbereiches, innerhalb dessen nach Einschätzung der Autoren aufgrund von Analyseungenauigkeiten und zeitlichen Variabilitäten des Humusvorrats keine signifikanten Veränderungen nachgewiesen werden können.

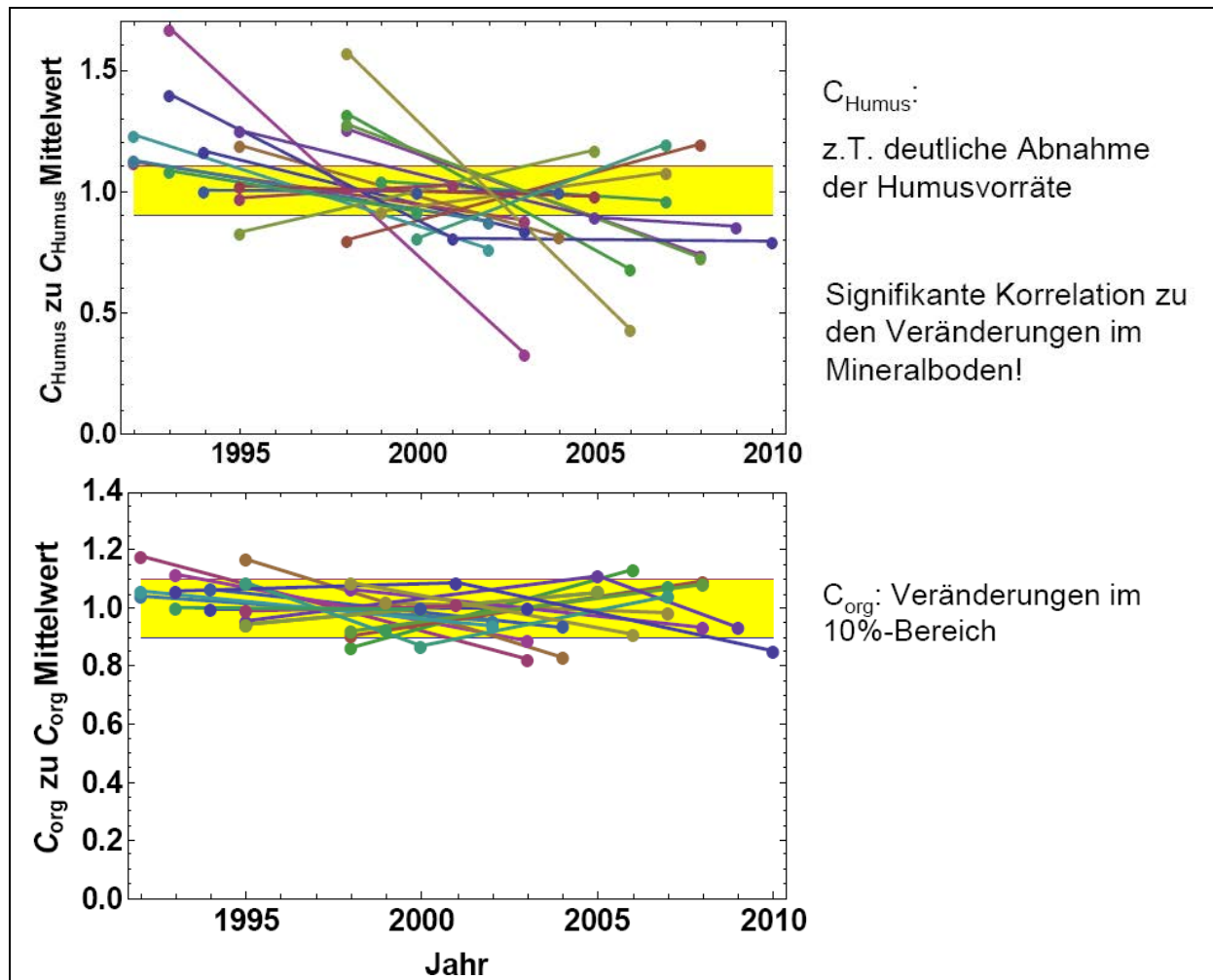


Abb. 4–5: Relative Veränderungen der Humusvorräte in der Humusauflage (oben) und im Mineralboden (unten) der Wald-BDF Niedersachsens (FLECK & HÖPER 2011)

Die dargelegten Veränderungen der Humusvorräte diskutieren FLECK & HÖPER (2011) im Zusammenhang mit möglichen Auswirkungen des Klimawandels. So zeigen Langzeitbeobachtungen an der BDF Solling (Buche), dass das 5-Jahresmittel der Bodenfeuchtevorräte im Sommerhalbjahr (modellerte Werte) und die Humusvorräte miteinander negativ korrelieren.

ren (Abb. 4–6). Nach Einschätzung der Autoren deutet der für die BDF Solling erkennbare Zusammenhang darauf hin, dass in Folge der zukünftig wahrscheinlich geringeren Sommerniederschläge ein beschleunigter Humusabbau stattfinden könnte. Diese Vermutung bedarf aber noch der Absicherung durch weitere Daten. Wenn sich der angedeutete Trend bestätigen würde, dann wäre die C-Senkenfunktion der Wälder beeinträchtigt.

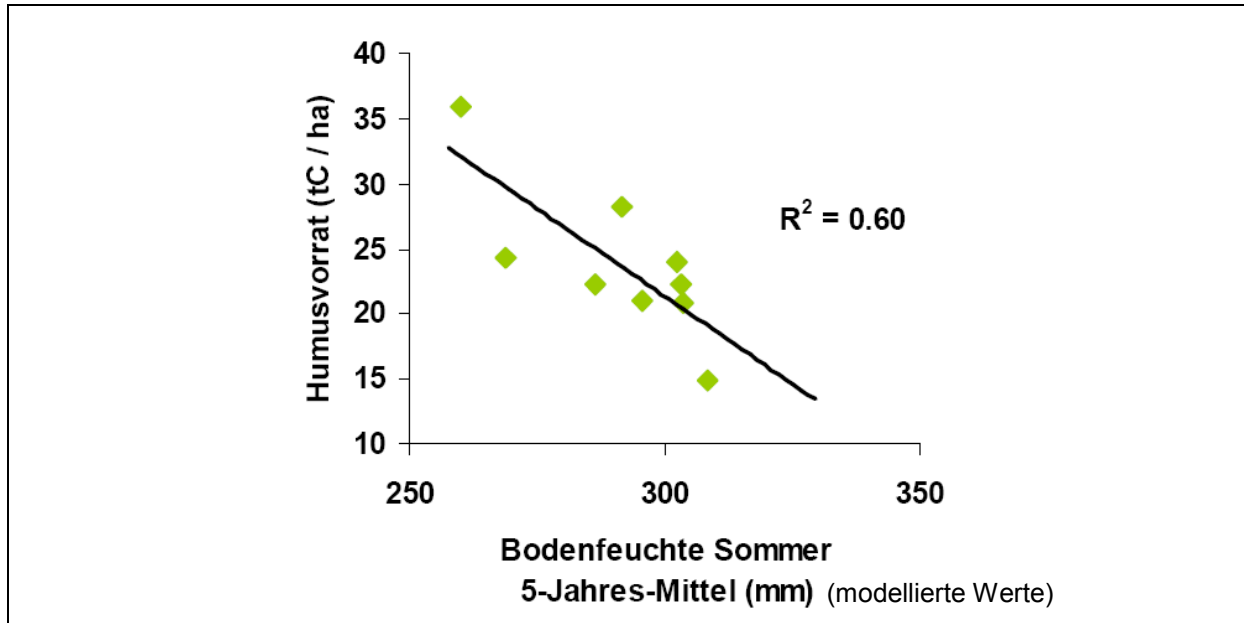


Abb. 4–6: Humusvorräte an der BDF Solling (Buche) in Abhängigkeit vom 5-Jahres-Mittel des Bodenfeuchtevorrats im Sommerhalbjahr (FLECK & HÖPER 2011)

4.4.3 Organische Schadstoffe

Aus Sicht der Bodenschutzvorsorge interessieren auch die ubiquitären Einträge organischer Schadstoffe, die bisher in dem Programm der Bodendauerbeobachtung in Nordrhein-Westfalen nicht berücksichtigt wurden.

Beispielhaft wird dazu auf die Ergebnisse aus Niedersachsen eingegangen (FORTMANN & MEESENBURG 2007). Zwischen 1994 und 2004 wurden in der Humusaufgabe und im Mineralboden von 22 Wald-BDF persistente organische Schadstoffe analysiert. Berücksichtigt wurden PAK, PCB und die chlorierten Kohlenwasserstoffe Hexachlorbenzol (HCB), DDT und seine Abbauprodukte DDD und DDE, α -HCH, β -HCH und γ -HCH (Lindan) sowie Aldrin, Endrin, Dieldrin, Heptachlor und Heptachlorepoxid.

Anhand der Erst- und Wiederholungsuntersuchungen konnte festgestellt werden, dass es unbelastete Flächen nicht gibt. PAK, PCB, HCB, HCH und DDT kamen in 80 bis 100 % der niedersächsischen BDF vor. Dagegen konnte Heptachlor und Heptachlorepoxid auf keiner BDF nachgewiesen werden. Aldrin, Dieldrin und Andrin ist nur an vereinzelten BDF analytisch nachweisbar.

Generell sind Böden unter Nadelbäumen, insbesondere unter Fichten, höher belastet, als Böden unter Laubbäumen. Bei PCB, PAK und HCB kann dies mit den vorwiegend diffusen

Eintragspfaden, der ganzjährigen Benadelung und der hohen Affinität der cuticulären Wachsschicht der Nadeln für diese Stoffe erklärt werden, bei DDT und HCB mit dem häufigeren historischen Einsatz dieser Stoffe in Nadelbaum- im Vergleich zu Laubbaumbeständen.

Die Vorsorgewerte nach BBodSchV für PAK (> 8 % Humus) werden lediglich in der Humusaufgabe von drei der 22 untersuchten BDF überschritten. Überschreitungen der PCB-Vorsorgewerte treten auf keiner BDF auf. Für alle anderen Stoffe gibt es keine Vorsorgewerte, so dass diesbezüglich kein Vergleich angestellt werden kann.

Eine Tiefenverlagerung der organischen Schadstoffe und eine damit einhergehende potenzielle Gefährdung des Grundwassers ist für PCB, HCB, HCH, Aldrin, Dieldrin und Endrin auszuschließen. In Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen können PAK und DDX bis in 50 cm Tiefe verlagert werden. Hier sind insbesondere Moor- und Sandböden als verlagerungsgefährdet zu bezeichnen.

Die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung für den Zeitraum von 9 bis 10 Jahren deckte für alle untersuchten Stoffe zurückgehende Gehalte auf. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch LÜGGER et al. (2005) für die hessischen BDF. Als Ursache der abnehmenden Schadstoffgehalte werden verringerte Einträge infolge umweltpolitischer Auflagen und Ausbringungsverbote sowie mikrobieller Abbau und Verlagerung angesehen. Der mikrobielle Abbau verläuft in gut gepufferten Böden mit hoher mikrobieller Aktivität wesentlich schneller als in versauerten Böden mit geringer biologischer Aktivität.

5 Zusammenfassung

Mit dem BDF-Programm in Nordrhein-Westfalen wird an ausgewählten Flächen insbesondere die Entwicklung der Bodenversauerung und der Schwermetallbelastung der Böden beobachtet. Damit wird das Ziel verfolgt, spezifische Belastungssituationen im Hinblick auf langfristige Änderungen der Bodenzustände zu beschreiben und zukünftige Entwicklungen prognostizieren zu können. Das BDF-Programm verfolgt nicht das Ziel einer boden-, landschafts-, nutzungs- und belastungsrepräsentativen Erfassung des Bodenzustands in Nordrhein-Westfalen. Die in diesem Bericht dokumentierten Ergebnisse aus dem BDF-Programm sind daher nicht repräsentativ für die Landschaften, Böden, Nutzungen und Belastungen in Nordrhein-Westfalen. Da die Ergebnisse nur auf dem Vergleich der Erst- und Zweituntersuchung basieren, kann daraus auch noch kein Trend abgeleitet werden.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen und interpretieren:

- Der Status der BDF-Standorte ist entsprechend der Auswahl der Standorte zumeist durch deutliche Schadstoffanreicherungen und durch starke Versauerungserscheinungen charakterisiert.
- Die meisten Böden der Wald-BDF sind über das gesamte Bodenprofil sehr stark bis extrem stark versauert und durch tiefgründige Verarmung an basischen Kationen infolge Auslaugung gekennzeichnet.
- In diesen tiefgründig versauerten und basenverarmten Wald-BDF sind die Lebensraumfunktionen und die Filter-, Puffer- und Ausgleichsfunktionen der Böden erheblich beeinträchtigt.
- Die mit der Erschöpfung der Puffersysteme verbundene Zerstörung primärer und sekundärer Tonminerale hat nicht nur bodenchemische Auswirkungen. Es ist davon auszugehen, dass auch bodenphysikalische Eigenschaften wie Gefügemerkmale durch die allmähliche Auflösung der Tonminerale beeinträchtigt werden.
- Die Versauerung hat bereits zu einer verstärkten Auswaschung mobiler Schwermetalle wie Cadmium aus den Auflage- und obersten Mineralbodenschichten der Wald-BDF geführt.
- Zwischen der Erst- und Zweituntersuchung konnte keine signifikante Veränderung der Humusparameter (Humusgehalt, C/N-Verhältnis) ermittelt werden.
- Eindeutige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren (z. B. Ausgangsgesteine, Bodenarten, Nutzungen, Humusgehalte) und den stofflichen Bodeneigenschaften konnten nicht nachgewiesen werden. Beispielsweise unterscheiden sich die untersuchten Laubwald- und Nadelwald-BDF nicht im Schadstoffstatus, obwohl dem Grundsatz nach Nadelwald aufgrund der größeren Vegetationsoberfläche höhere Depositionsraten und damit höhere Schadstoffgehalte im Boden erwarten lassen.
- Im Vergleich zu den Wald-BDF weisen die an drei Standorten als Referenzflächen eingerichteten Grünland-BDF erwartungsgemäß höhere pH-Werte auf.

- Die ebenfalls untersuchte BDF auf einer Parkwiese weist als Folge der besonderen Belastungssituation in Duisburg sehr hohe Schwermetallgehalte im Boden auf. In diesem Ergebnis spiegeln sich Emissions- und nicht Nutzungseinflüsse wider.
- Obwohl anhand der Erst- und Zweituntersuchung noch keine zeitlichen Trends eindeutig nachweisbar sind, zeigen sich gleichwohl tendenzielle und zum Teil statistisch signifikante Unterschiede. Bemerkenswert sind die anhand standortübergreifender Auswertungen ermittelten signifikant niedrigeren Schwermetallgehalte der Zweitbeprobung.

Als ein wesentliches Ergebnis aus dem Vergleich der Erst- und Zweituntersuchung der BDF in Nordrhein-Westfalen ist festzustellen, dass Veränderungen bodenchemischer Parameter anhand von zwei Beprobungsterminen innerhalb einer Zeitspanne von 10 Jahren noch nicht statistisch signifikant nachweisbar sind. Zu diesem Schluss kommen auch Auswertungen aus BDF-Programmen anderer Bundesländer. Selbst nach 20 Jahre waren viele beobachtete Veränderungen der Messwerte noch nicht signifikant.

6 Literaturverzeichnis

- AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Barth, N., W. Brandtner, E. Cordsen, T. Dann, K.-H. Emmerich, D. Feldhaus, B. Kleefisch, B. Schilling, J. Utermann (2000/2001): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen; In: Rosenkranz, D.; Bachmann, G.; König, W.; und G. Einsele (Hrsg.): Bodenschutz, Ergänzbares Loseblattsammlung; Blatt 9152; BoS 32, Lfg. XI/00 und BoS 33, Lfg. III/01; Erich Schmid-Verlag, Berlin.
- BMELF (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald – Level II, Erste Ergebnisse. Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- BMELF (2000): Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen – Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II. Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- Builtjes, P., E. Hendriks, M. Koenen, M. Schaap, S. Banzhaf, A. Kerschbaumer, T. Gauger, H.-D. Nagel, T. Scheuschner, A. Schlutow (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland – Zusammenfassender Abschlussbericht. UBA-Texte 38/2011, Berlin.
- Capriel, P., D. Seiffert (2009): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern. Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 10.
- Desaules, A., S. Ammann, P. Schwab (2010): Advances in long-term soil-pollution monitoring of Switzerland. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2010, 173, 525–535.
- Düwel, O., J. Utermann, F. Krone (2007): Zuordnung von Bodenarten zu den in Deutschland vorherrschenden Gruppen von Bodenausgangsgesteinen – Auswertung vor dem Hintergrund der Verknüpfungen von Vorsorgewerten nach Anhang 2 BBodSchV mit Hintergrundwerten für anorganische Schadstoffe in Böden. BGR-Bericht, Hannover.
- Fleck, S., H. Höper (2011): Klimafolgenmonitoring. Vortrag auf der Tagung „20 Jahre Bodendauerbeobachtung“ am 5. und 6. Dezember 2011 in Hannover, vgl. Fußnote 8 auf S. 29.
- Fortmann, H., H. Meesenburg (2007): Organische Schadstoffe in Waldböden Niedersachsens – Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. GeoBerichte 4. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- GD – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2004): Auskunftssystem Bodenkarte 1 : 50.000 (BK50). Karte der schutzwürdigen Böden. Bearbeitungsmaßstab 1 : 50.000. CD-ROM. Krefeld. http://www.gd.nrw.de/g_bk50d.htm.

- Henkelmann, G., M. Uhlmann, R. Kolb, E. Wojtynek (2005): Veränderung der Radionuklidgehalte auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen, In: LfL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Freising.
- Huschek, G., D. Kregel, M. Kayser, A. Bauriegel, H. Burger (2004): Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder. UBA-Texte 50/2004, Berlin.
- Kaufmann-Boll, C., W. Kappler, S. Lazar, G. Meiners, B. Tischler, R. Baritz, O. Düwel, R. Hoffmann, J. Utermann, F. Makeschin, M. Abiy, J. Rinklebe, A. Prüß, C. Schilli, A. Beylich, U. Graefe (2011): Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung. UBA-Texte 65/2011, Berlin.
- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage.
- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2011): Leitfaden Archivböden – Empfehlungen zur Bewertung und zum Schutz von Böden mit besonderer Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. LABO.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2000): Bodendauerbeobachtung im Land Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2000 – Heft 35.
- LANUV (2009): Bodenbiologische Untersuchungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1995 – 2007. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.
- LANUV (2011): Schriftliche Mitteilung von Frau Stempelmann vom 8.11.2011. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.
- LfU – Bayerische Landesanstalt für Umwelt (2008): Bodenversauerung in Bayern. Augsburg.
- LfU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1997): Bodenversauerung – Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen – Literaturstudie. Karlsruhe.
- LfU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1999): Boden-Dauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Untersuchungen ausgewählter organischer Schadstoffe und mikrobiologische Charakterisierung der Standorte. Karlsruhe.
- LUA (2005a): Bodendauerbeobachtung in NRW – Konzeption und Sachstand. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- LUA (2005b): Karten der Schwermetallgehalte in Oberböden Nordrhein-Westfalens. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 21. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- LUA (2006): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten (GE-Anleitung NRW). LUA-Merkblatt 57, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.

- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Naturschutz und Messungen Baden-Württemberg (2008): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung – von klassischen Umweltbeobachtungen zu medienübergreifenden Umweltbilanzen.
- Lügger, K., U. Drolshagen, K.-H. Emmerich, S. Stern (2005): Bodendauerbeobachtung in Hessen: Auswertung organischer Spurenstoffe. DBG-Mitteilungen Band 107, Heft 2, S. 743-744.
- Marre, G., P. Gullich, R. Paul, I. Pfleger, W. Weber, U. Prüfer (2006): Bodendauerbeobachtung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen – Monitoring zur Erfassung von Veränderungen wesentlicher Bodenfunktionen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Meesenburg, H., A. Schulze, K.J. Meiwes (2002): Dauerbeobachtung von Waldböden als integraler Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen. In: UBA (Hrsg.) (2002): Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern. UBA-Texte 66/2002, S. 55-65, Berlin.
- Meesenburg, H., H. Fortmann, P. Rademacher, B. Scheler, S. Fleck, M. Wagner, B. Ahrends, M. Albrecht, U. Klinck, A. Schulze, M. Mindrup, K. J. Meiwes (2011): Beitrag der Bodendauerbeobachtung zu einer nachhaltigen Forstwirtschaft. Vortrag auf der Tagung „20 Jahre Bodendauerbeobachtung“ am 5. und 6. Dezember 2011 in Hannover, vgl. Fußnote 8 auf S. 29.
- MKULNV – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010): Klimawandel und Boden – Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort. Broschüre hrsg. vom MKULNV, Düsseldorf.
- Preger, A.C., G. Welp, U. Marquardt, B. Koleczek und W. Amelung (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: Aktueller Status und zeitliche Entwicklung. Projekt im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Bereich Bodenwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Raben, G., H. Andreae, H. Karst, F. Symosseck, F. Leube (2004): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern. Hrsg. vom Landesforstpräsidium Sachsen, Pirna.
- SAG – Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der Umweltministerkonferenz (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen; Bericht der Unterarbeitsgruppe „Boden-Dauerbeobachtungsflächen“; Arbeitshefte Bodenschutz 1, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. Akademischer Verlag Heidelberg.
- Schilli, C., J. Rinklebe, G. Lischeid, C. Kaufmann-Boll, S. Lazar (2011): Auswertung der Veränderungen des Bodenzustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze. Teil B: Datenauswertung und Weiterentwicklung des Monitorings. UBA-Texte 90/2011, Berlin.

- Schröder, W., G. Schmidt, R. Pesch (2003): Repräsentanz und Vergleichbarkeit von Daten und Flächen der Bodendauerbeobachtung. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Heft 166, S. 649-659.
- Schulte, A., A. Alazs, J. Block & J. Gehrman (1996a): Entwicklung der Niederschlags-Deposition von Schwermetallen in West-Deutschland. 1. Blei und Cadmium. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 159:4, 377-383.
- Schulte, A. & J. Gehrman (1996b): Entwicklung der Niederschlags-Deposition von Schwermetallen in Westdeutschland. 2. Arsen, Chrom, Kobalt und Nickel. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 159:4, 385-389.
- Spatz, P. (2001): Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten Bodendauerbeobachtung, ausgehend von der Zusammenstellung der Metadaten aus den Ländern. UBA-Texte 22/2001, Berlin.
- Utermann, J., O. Düwel, M. Fuchs, H. Gäbler, E. Gehrt, R. Hindel, J. Schneider (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. Forschungsbericht 29771010, Umweltbundesamt Berlin (UBA-FB 99-066).
- Utermann, J., M. Fuchs, O. Düwel (2010): Hintergrundwerte für Spurenelemente in Böden mit Blick auf Bodenarten-Hauptgruppen, Bodenschutz, Heft 4, S. 103-108.

7 Anhang

7.1 Detaillierte Charakterisierung der 21 BDF in Nordrhein-Westfalen

(nach LANUV 2009 und den Bodenkarten zur Standorterkundung des GD NRW)

BDF Nr.	BDF-Name (Abkürzung)	Landschaftsraum ¹	Höhe (m) ²	NS (mm) ³	Temp. (°C) ⁴	Nutzung ⁵	Humusform ⁶	Substrat ⁷	Bodentyp ⁸	Bodenart ⁹	pH ¹⁰	Beprobungsjahre	Belastungssituation ¹¹	Anmerkungen
1. Waldstandorte mit unterschiedlichen Emittenteneinflüssen														
1.1	Lammersdorf Fichte (LAM Fi)	Eifel (mit Siebengebirge)	565	1100	6,5	Nadelwald (Fichte)	MR	Fließerde, undifferenziert	Braunerde-Pseudogley	Tu3	2,7	1996, 2006	H+	Level-II-Fläche
1.2	Kleve Tannebusch (KLE Tb)	Niederrheinisches Tiefland	40	725	9,6	Laubwald (Eiche/Buche)	MO	Löss	Braunerde-Pseudogley	Ut3	3,0	1955, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.3	Kleve Rehsol (KLE Re)	Niederrheinisches Tiefland	40	725	9,6	Laubwald (Buche)	MO	Löss	Braunerde-Pseudogley	Us	2,8	1996, 2006	H+	Bestands-Biomonitoring
1.4	Velmerstot (VEL)	Weserbergland	415	1250	6,5	Nadelwald (Fichte)	MR	Fließerde (Hauptlage)	Braunerde-Podsol	Ut3	2,6	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.5	Elberndorf (ELB)	Sauer- und Siegerland	675	1200	6,3	Nadelwald (Fichte)	MR	Fließerde (Hauptlage)	Pseudogley-Braunerde	Lt2	2,8	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.6	Glindfeld (GLI)	Sauer- und Siegerland	525	700	6,4	Laubwald (Buche)	MO	Fließerde, undifferenziert	Braunerde	Lt3	3,8	1995, 2005	H+	Level-II-Fläche
1.7	Haard (HAA)	Westfälische Bucht	75	800	9,3	Laubwald (Buche)	RO	Sand	Braunerde-Podsol	Sl3	3,0	1996, 2006	H+, SM	Level-II-Fläche
1.8	Schwaney (SCH)	Weserbergland	380	1050	7,5	Laubwald (Buche)	MU/MO	Fließerde (Hauptlage)/ Kalk-Gruppe	Pseudovergleyte Braunerde	Tu3	4,0	1996, 2006	H+	Level-II-Fläche
1.9	Duisburg Wald (DUI Wa)	Niederrheinisches Tiefland	65	775	10,3	Laubwald (Buche)	MR	Fließerde, undifferenziert	Podsol-Braunerde	Sl3	4,0	1996, 2006	H+, SM	Bestands-Biomonitoring, gewachsener alter Wald
1.10	Essen-Süd (ESS Sü)	Bergisches Land	140	900	9,5	Laubwald (Buche)	MR	Heterogene Substrate (Löss, Fließerden, Hochflächenlehm)	Pseudogley-Braunerde	Ls3	3,0	1997, 2007	H+, SM	
1.11	Bottrop (BOT)	Niederrheinisches Tiefland	63	800	9,5	Laubwald (Buche)	MR	Geschiebesand, Flugsand	Pseudogley	Sl4	3,6	1997, 2007	H+, SM	
1.12	Castrop-Rauxel (CAR)	Westfälische Bucht	73	785	9,8	Laubwald (Buche)	MR/MO	Geschiebesand, Flugsand, Grundmoräne	Pseudogley	Sl4	4,5	1997, 2007	H+, SM	
1.13	Lammersdorf Buche (LAM Bu)	Eifel (mit Siebengebirge)	448	1100	6,5	Laubwald (Buche)	MR/RO	Fließerde, undifferenziert	Pseudogley	Tu3	3,5	1999, 2007	H+	Level-II-Fläche
1.14	Everswinkel (EWI)	Westfälische Bucht	64	750	9,3	Laubwald (Eiche)	MO	Geschiebesand, Flugsand, Grundmoräne	Pseudogley	Sl4	3,0	1999, 2009	H+	Bestands-Biomonitoring
1.15	Goch (GOC)	Niederrheinisches Tiefland	16	675	9,6	Laubwald (Erle)	MO	Auenablagerungen	Pseudogley-Gley	Ls3	3,1	2003, –	H+	Wiederholungsuntersuchung erfolgt erst 2013.
2. Emittentennahes Belastungsgebiet Duisburg mit Schwermetallakkumulation														
2.1	Duisburg-Mattlerbusch (DUI Ma)	Niederrheinisches Tiefland	30	775	10,3	Laubwald (Eiche)	MO/MU	Hochflutablagerungen	Gley-Braunerde	Ls2	3,6	1996, 2006	H+, SM	Aufforstung eines ehemaligen Ackers vor ca. 20 Jahren
2.2	Duisburg-Biegerhof (DUI Bi)	Niederrheinisches Tiefland	40	800	10,3	Parkwiese	MU	Hochflutablagerungen	Braunerde	Ls2	5,0	1996, 2006	SM	
3. Referenzstandorte außerhalb von Wald ohne spezifischen Säurestress														
3.1	Kleve außerhalb Wald (KLE a ¹²)	Niederrheinisches Tiefland	34	725	9,6	Grünland	-	-	Pseudogley-Braunerde	Ut2	5,1	2000, 2009	-	nahe Level-II-Fläche (Wald)
3.2	Lütkenberg (LÜK)	Weserbergland	240	850	8,0	Grünland	-	Fließerde, undifferenziert	Pseudogley-Parabraunerde	Ut4	5,4	2000, 2009	-	
3.4	Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a ¹²)	Eifel (mit Siebengebirge)	575	1100	7,7	Grünland	-	-	Braunerden und Pseudogley	Tu3	5,9	1999, 2009	-	nahe Level-II-Fläche (Wald)
3.5	Haard außerhalb Wald (HAA a ¹²)	Westfälische Bucht	75	800	9,3	Grünland	-	-	Braunerde-Podsol	Sl3	5,3	1999, –	-	nahe Level-II-Fläche (Wald) (nur Erstbeprobung, als BDF aufgegeben)

¹ Großlandschaften (Quelle: LANUV)

² Höhe über N.N. (Quelle: LUA 2009)

³ Langjähriger mittlerer Jahresniederschlag (Quelle: LUA 2009)

⁴ Langjähriges Jahresmittel der Lufttemperatur (Quelle: LUA 2009)

⁵ Nutzung und Hauptbaumarten auf Forstflächen (Quelle: GD NRW)

⁶ Humusformen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden 2005) (Quelle: LUA 2009): MU - Mull, MO - Moder, MOM - Mullartiger Moder, RO - Rohhumus, MR - Rohhumusartiger Moder

⁷ Substratgruppenzuordnung gemäß Bodenkarte zur Standorterkundung (GD NRW) (vgl. Anhangkap. 7.2)

⁸ Bodentyp (Quelle: LUA 2009; verändert)

⁹ Mittlere Bodenart der jeweils obersten Tiefenstufe (0-2 bzw. 0-5 cm) der Zweitbeprobung, ermittelt aus den analytisch bestimmten Korngrößenverteilungen

¹⁰ Mittlerer pH-Wert (CaCl₂) der jeweils obersten Tiefenstufe (0-2 bzw. 0-5 cm) der Zweitbeprobung (Ausnahme: pH der Erstbeprobung bei GOC, HAAa)

¹¹ Belastung insbesondere durch Säureeinträge (H+) bzw. Schwermetalle (SM) (Quelle: LUA 2009)

¹² Die Flächen mit der Bezeichnung „a“ beziehen sich auf Grünlandstandorte, die als Referenz zu benachbarten Level-II-Waldflächen ausgewählt wurden.

7.2 Ausgangssubstrate der Bodenbildung und Zuordnung der BDF zu Substratgruppen mit ähnlichen Bodeneigenschaften

BDF Nr.	BDF-Name (Abkürzung)	Bodentypen und Substrate/ Ausgangsgesteine der Bodenbildung ¹	Substratgruppen ²	Geogenese ³	Gruppenindex ⁴
1.1	Lammersdorf Fichte (LAM Fi)	Bodentypen: Pseudogley-Braunerden und Braunerde-Pseudogleye, <i>Pseudogleye</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Pleistozän) - über Phyllit und Quarzit (Kambrium, Revin 4)	Fließerden (undifferenziert)	Frostbodenbildungen	2
1.2	Kleve Tannebusch (KLE Tb)	Bodentypen: Pseudogley-Braunerden, <i>Aufschüttungs- und Abgrabungs-Regosole</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Löss, teils Sandlöss (Weichsel) - über Schmelzwasserablagerungen (Saale) Anmerkung.: <i>Aufschüttungs- und Aufgrabungs-Regosole</i> aus natürlichem Substrat	Löss	Windablagerungen	3
1.3	Kleve Rehsol (KLE Re)	Bodentypen: Pseudogley-Braunerden (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Löss, teils Sandlöss (Weichsel) - über Fließerde (Pleistozän) - über Schmelzwasserablagerungen (Saale)	Löss	Windablagerungen	3
1.4	Velmerstot (VEL)	Bodentypen: Braunerde-Podsole und Eisen-Humus-Podsole, <i>Podsol-Braunerden</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Hauptlage, Pleistozän) - über Fließerden (Basislage, Pleistozän) - über Schluffstein, Sandstein der Unterkreide („Flammenmergel“, karbonatfrei, verwittert basenarm)	Fließerden (Hauptlage)	Frostbodenbildungen	2
1.5	Elberndorf (ELB)	Bodentypen: Braunerden und Pseudogley-Braunerden, <i>Aufschüttungs-Lockersyrose</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Hauptlage, Pleistozän) - über Fließerden (Basislage, Pleistozän) - über Sand- und Tonsteinen und Quarziten des Unterdevon (Obere Siegen-Schichten)	Fließerden (Hauptlage)	Frostbodenbildungen	2
1.6	Glindfeld (GLI)	Bodentypen: Braunerden (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Pleistozän) - über Sand-, Schluff- und Tonsteinen (Kulm-Tonschiefer, Kulm-Grauwacke, teils Kulm-Lydit; U-Karbon) und schwach karbonathaltigen Tonsteinen des Dasberg, O-Devon)	Fließerden (undifferenziert)	Frostbodenbildungen	1
1.7	Haard (HAA)	Bodentypen: Braunerden und (pseudovergleyte) Braunerde-Podsole, <i>Podsole, Podsol-Braunerden, Pseudogley-Braunerden</i> (Oberste Bodenarten lehmig-sandig) aus - Flugsand (Weichsel-Spätglazial bis Holozän) und Fließerden (Pleistozän)	Sand	Windablagerungen	5
1.8	Schwaney (SCH)	Bodentypen: Braunerden und Pseudogley-Braunerden, <i>Braunerde-Pseudogleye</i> aus - Fließerden (Hauptlage, Pleistozän) - über Fließerde (Basislage, Pleistozän) - über Mergelkalkstein - "Trochiten-/ Ceratithenschichten des Oberen Muschelkalk - teils über Tonmergelstein des Mittleren Muschelkalk - über Mergelkalkstein - "Schaumkalkbank" des Unteren Muschelkalk	Fließerden (Hauptlage) über karbonatischem Festgestein	Frostbodenbildungen	1
1.9	Duisburg Wald (DUI Wa)	Bodentypen: Braunerden und Podsol-Braunerden, <i>Pseudogleye und Gleye/ Nassgleye/ Podsol-Gleye</i> sowie <i>Übergangstypen</i> (Oberste Bodenarten lehmig-sandig) aus - Fließerden (Pleistozän) - über Terrassenablagerungen (Hauptterrassen, Unterpleistozän)	Fließerden (undifferenziert)	Frostbodenbildungen	2
1.10	Essen-Süd (ESS Sü)	Bodentypen: Braunerden und Pseudogley-Braunerden, <i>Braunerde-Pseudogleye</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig, teils sandig-schluffig) aus - Löss, Fließerden (Pleistozän), Hochflächenlehm - über Sand-, Schluff- und Tonsteinen des Oberkarbon	Fließerden und Löss	Frostbodenbildungen und Windablagerungen	2
1.11	Bottrop (BOT)	Bodentypen: Pseudogleye, <i>Gleye</i> (Oberste Bodenarten lehmig-sandig, teils sandig bis stark sandig) aus - Geschiebedecksand (Pleistozän), Flugsand (Weichsel-Spätglazial bis Holozän), holozänen Bachablagerungen (Gleye) - über Grundmoränen (Saale) - über präquartären Tonen (Tertiär)	Geschiebesand, Flugsand	Eisablagerungen	5
1.12	Castrop-Rauxel (CAR)	Bodentypen: Braunerden, Pseudogleye (> 50 Flächen-%) und Gleye sowie <i>Übergangstypen</i> , teils Abgrabungen aus - Flugsand, Geschiebedecksand (Pleistozän), Bachablagerungen (Holozän), Grundmoräne (Saale) - über Geschiebedecksand, Grundmoräne, Tonmergelstein (Oberkreide)	Geschiebesand, Flugsand, Grundmoräne	Eisablagerungen	1
1.13	Lammersdorf Buche (LAM Bu)	Bodentypen: Braunerden und Braunerde-Pseudogleye, <i>Gleye</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Pleistozän) - über Phyllit und Quarzit (Kambrium, Revin 4)	Fließerden (undifferenziert)	Frostbodenbildungen	2
1.14	Everswinkel (EWI)	Bodentypen: Pseudogley (teils vergleyt), <i>Pseudogley-Podsole, Podsol-Pseudogleye, Braunerde-Pseudogleye</i> (Oberste Bodenarten lehmig-sandig bis sandig) aus - Geschiebedecksand (Pleistozän), Flugsand (Weichsel-Spätglazial bis Holozän) - über Grundmoränen (Pleistozän) - über Vorschüttsanden (Mittelpleistozän), Kalkmergelstein (Oberkreide)	Geschiebesand, Flugsand, Grundmoräne	Eisablagerungen	1
1.15	Goch (GOC)	Bodentypen: Gleye, Pseudogley-Gleye, Nassgleye; Gley-Pseudogleye, Braunerden (Oberste Bodenarten tonig-lehmig und sandig-lehmig) aus	Auenablagerungen	Bach- und Flussablagerungen	4

BDF Nr.	BDF-Name (Abkürzung)	Bodentypen und Substrate/ Ausgangsgesteine der Bodenbildung ¹	Substratgruppen ²	Geogenese ³	Gruppenindex ⁴
		- fluviatilen Ablagerungen (Quartär) - Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän)			
2.1	Duisburg-Mattlerbusch (DUI Ma)	Bodentypen: Braunerden, Gleye, Ah/C-Böden bzw. Aufschüttungsregosole aus natürlichem Material (Oberste Bodenarten tonig-schluffig und sandig-schluffig) aus - Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän), Bachablagerungen, teils Niedermoor torfe (Holozän)	Hochflutablagerungen	Bach- und Flussablagerungen	4
2.2	Duisburg-Biegerhof (DUI Bi)	Bodentypen: Braunerden, Gley-Braunerden, Kolluvisole, <i>Aufschüttungs-Regosole</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig bis sandig-lehmig) aus - Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän), kolluvialen (humosen) Ablagerungen des Holozän - über Terrassenablagerungen (Niederterrassen, Oberpleistozän)	Hochflutablagerungen	Bach- und Flussablagerungen	4
3.1	Kleve außerhalb Wald (KLE a ³)				3 ⁵
3.2	Lütkenberg (LÜK)	Bodentypen: Braunerden, Parabraunerde-Braunerden, Pseudogley-Braunerden (teils lessiviert), Kolluvisole (teils vergleht), <i>Pseudogley</i> (Oberste Bodenarten tonig-schluffig) aus - Fließerden (Hauptlage, Pleistozän), kolluvialen (humosen) Ablagerungen des Holozän - Fließerden, überwiegend Löss (Mittellage, Pleistozän) - Fließerden (Basislage, Pleistozän) - Tonsteinen, Schluffsteinen, Tonmergelsteinen (Steinmergelkeuper)	Fließerden (undifferenziert)	Frostbodenbildungen	2
3.4	Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a)				2 ⁵
3.5	Haard außerhalb Wald (HAA a)				5 ⁵

¹ Bodentypen und Substratsequenzen im Bereich der Bodendauerbeobachtungsflächen gemäß Bodenkarte zur Standorterkundung im Maßstab 1:1.000 (GD NRW); Kursivschrift kennzeichnet Bodentypen mit geringen Flächenanteilen

² Zusammenfassende Substratgruppenzuordnungen gemäß Bodenkarte zur Standorterkundung im Maßstab 1:1.000 (GD NRW)

³ Zuordnung der Substratgruppen zu Gruppen nach unterschiedlicher Geogenese; die Zuordnung erfolgte gemäß Fachbeitrag des GD NRW (2003)

⁴ Der Gruppenindex kennzeichnet die Zuordnung der BDF in 5 Gruppen mit ähnlichen Bodeneigenschaften (vgl. Kap. 3.5.1)

7.3 Qualitativer Vergleich der Ergebnisse der Zweit- im Vergleich zur Erstbeprobung für ausgewählte Parameter der Auflageproben und der mineralischen Tiefenstufen bis 60 cm Tiefe auf Grundlage der flächenspezifischen gemittelten Werte, nur Wald-BDF (Bezugswert: Erstbeprobung=100%).

Auflagehorizonte - L/Of							Auflagehorizonte - Oh							0-2 cm							2-5 cm										
Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen		Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (± 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen		Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (± 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen		Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (± 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen		Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (± 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich
Säureparameter							Säureparameter							Säureparameter							Säureparameter										
pH (CaCl ₂)		-	-	10	1	1	3	pH (CaCl ₂)		-	-	5	1	1	5	pH (CaCl ₂)		-	-	10	3	1	-	pH (CaCl ₂)		-	-	13	1	-	-
Basensättigung (%)		-	-	-	-	-	15	Basensättigung (%)		-	-	-	-	-	-	Basensättigung (%)		-	5	3	2	4	-	Basensättigung (%)		-	5	4	1	4	-
Abnahmen / Zunahmen		0	0	10	1	1	18	Abnahmen / Zunahmen		0	0	5	1	1	5	Abnahmen / Zunahmen		0	5	13	5	5	0	Abnahmen / Zunahmen		0	5	17	2	4	0
KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)							KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)							KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)							KAK_{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)										
K ⁺		-	-	-	-	-	15	K ⁺		-	-	-	-	-	-	K ⁺		4	5	1	3	1	-	K ⁺		4	3	5	2	-	-
Na ⁺		-	-	-	-	-	15	Na ⁺		-	-	-	-	-	-	Na ⁺		2	1	3	2	6	-	Na ⁺		2	4	3	-	5	-
Mg ²⁺		-	-	-	-	-	15	Mg ²⁺		-	-	-	-	-	-	Mg ²⁺		5	2	3	1	3	-	Mg ²⁺		3	4	2	2	3	-
Ca ²⁺		-	-	-	-	-	15	Ca ²⁺		-	-	-	-	-	-	Ca ²⁺		4	3	3	-	4	-	Ca ²⁺		4	1	3	3	3	-
Abnahmen / Zunahmen		0	0	0	0	0	60	Abnahmen / Zunahmen		-	-	-	-	-	-	Abnahmen / Zunahmen		15	11	10	6	14	0	Abnahmen / Zunahmen		13	12	13	7	11	0
KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)							KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)							KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)							KAK_{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)										
Al ³⁺		-	-	-	-	-	15	Al ³⁺		-	-	-	-	-	-	Al ³⁺		1	8	4	1	-	-	Al ³⁺		2	5	5	2	-	-
Fe ³⁺		-	-	-	-	-	15	Fe ³⁺		-	-	-	-	-	-	Fe ³⁺		5	3	1	-	5	-	Fe ³⁺		2	4	1	3	4	-
Mn ²⁺		-	-	-	-	-	15	Mn ²⁺		-	-	-	-	-	-	Mn ²⁺		4	3	2	3	2	-	Mn ²⁺		3	5	1	-	5	-
H ⁺		-	-	-	-	-	15	H ⁺		-	-	-	-	-	-	H ⁺		6	5	1	1	1	-	H ⁺		3	8	-	-	3	-
Abnahmen / Zunahmen		0	0	0	0	0	60	Abnahmen / Zunahmen		-	-	-	-	-	0	Abnahmen / Zunahmen		16	19	8	5	8	0	Abnahmen / Zunahmen		10	22	7	5	12	0
As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt							As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt							As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt							As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt										
As		-	3	2	2	3	5	As		1	3	3	1	1	3	As		1	4	1	2	1	5	As		2	3	2	1	1	5
Cd		6	5	2	-	1	1	Cd		3	4	2	1	1	1	Cd		6	3	2	-	2	1	Cd		4	3	3	1	2	1
Cr		6	4	1	2	1	1	Cr		4	5	1	1	-	1	Cr		3	6	2	1	1	1	Cr		1	6	3	2	1	1
Cu		4	6	1	3	-	1	Cu		2	7	2	-	-	1	Cu		3	4	6	-	-	1	Cu		2	3	4	3	1	1
Hg		-	-	-	-	-	15	Hg		-	-	-	-	-	12	Hg		-	-	-	-	-	14	Hg		-	-	-	-	-	14
Ni		6	5	1	1	1	1	Ni		6	4	1	-	-	1	Ni		7	4	1	-	1	1	Ni		5	5	2	-	1	1
Pb		9	1	2	-	2	1	Pb		6	5	-	-	-	1	Pb		6	4	3	-	-	1	Pb		5	4	3	-	1	1
Zn		4	7	3	-	-	1	Zn		3	7	1	-	-	1	Zn		4	4	5	-	-	1	Zn		5	2	5	1	-	1
Abnahmen / Zunahmen		35	31	12	8	8	26	Abnahmen / Zunahmen		25	35	10	3	2	21	Abnahmen / Zunahmen		30	29	20	3	5	25	Abnahmen / Zunahmen		24	26	22	8	7	25
Humuskennwerte (C_{org}, N_t)							Humuskennwerte (C_{org}, N_t)							Humuskennwerte (C_{org}, N_t)							Humuskennwerte (C_{org}, N_t)										
C _{org} (%)		1	5	7	1	-	1	C _{org} (%)		-	4	5	2	-	1	C _{org} (%)		1	4	4	4	-	1	C _{org} (%)		1	4	2	5	1	1
N _t (%)		2	4	9	-	-	-	N _t (%)		-	6	4	2	-	-	N _t (%)		4	3	4	3	-	-	N _t (%)		4	3	4	3	-	-
Humusvorrat (g/m ²)		6	2	3	-	4	1	Humusvorrat (g/m ²)		1	1	1	-	9	-	Humusvorrat (g/m ²)								Humusvorrat (g/m ²)							

5-10 cm

Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen					
	Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (\pm 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich

Säureparameter						
pH (CaCl ₂)	-	-	14	1	-	-
Basensättigung (%)	3	5	4	1	2	-
Abnahmen / Zunahmen	3	5	18	2	2	0

KAK _{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)						
K ⁺	4	5	5	1	-	-
Na ⁺	4	1	2	3	5	-
Mg ²⁺	4	5	2	2	2	-
Ca ²⁺	4	6	1	2	2	-
Abnahmen / Zunahmen	16	17	10	8	9	0

KAK _{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)						
Al ³⁺	1	6	4	3	1	-
Fe ³⁺	5	4	2	1	3	-
Mn ²⁺	1	5	3	4	2	-
H ⁺	3	7	1	-	4	-
Abnahmen / Zunahmen	10	22	10	8	10	0

As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt						
As	-	3	4	1	2	5
Cd	5	3	2	1	3	1
Cr	-	6	4	2	2	1
Cu	1	3	5	3	2	1
Hg	-	-	-	-	-	15
Ni	6	2	2	3	1	1
Pb	4	6	2	1	1	1
Zn	2	9	2	-	1	1
Abnahmen / Zunahmen	18	32	21	11	12	26

Humuskennwerte (C _{org} , N _t)						
C _{org} (%)	1	4	5	2	2	1
N _t (%)	3	5	5	2	-	-

10-30 cm

Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen					
	Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (\pm 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich

Säureparameter						
pH (CaCl ₂)	-	1	13	1	-	-
Basensättigung (%)	3	5	2	1	4	-
Abnahmen / Zunahmen	3	6	15	2	4	0

KAK _{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)						
K ⁺	3	5	4	1	2	-
Na ⁺	5	1	2	3	4	-
Mg ²⁺	3	4	2	2	4	-
Ca ²⁺	5	5	-	1	4	-
Abnahmen / Zunahmen	16	15	8	7	14	0

KAK _{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)						
Al ³⁺	-	3	7	4	1	-
Fe ³⁺	11	-	-	1	3	-
Mn ²⁺	3	1	2	5	4	-
H ⁺	3	2	2	1	6	1
Abnahmen / Zunahmen	17	6	11	11	14	1

As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt						
As	3	1	1	4	1	5
Cd	2	6	2	2	2	1
Cr	-	6	3	3	2	1
Cu	1	2	7	2	2	1
Hg	-	-	-	-	-	15
Ni	3	3	3	3	2	1
Pb	3	5	4	1	1	1
Zn	1	7	5	-	1	1
Abnahmen / Zunahmen	13	30	25	15	11	26

Humuskennwerte (C _{org} , N _t)						
C _{org} (%)	2	5	1	6	-	1
N _t (%)	7	6	2	-	-	-

30-60 cm

Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen	Anzahl der relativen Ab-/Zunahmen					
	Abnahme > 30%	Abnahme > 10-30%	gleich (\pm 10%)	Zunahme > 10-30%	Zunahme > 30%	kein Vergleich

Säureparameter						
pH (CaCl ₂)	-	2	10	1	2	-
Basensättigung (%)	3	3	3	3	3	-
Abnahmen / Zunahmen	3	5	13	4	5	0

KAK _{eff} basische Kationen (Mb-Kationen)						
K ⁺	3	5	3	1	3	-
Na ⁺	4	4	2	2	3	-
Mg ²⁺	1	4	3	2	5	-
Ca ²⁺	4	2	3	2	4	-
Abnahmen / Zunahmen	15	16	16	11	18	0

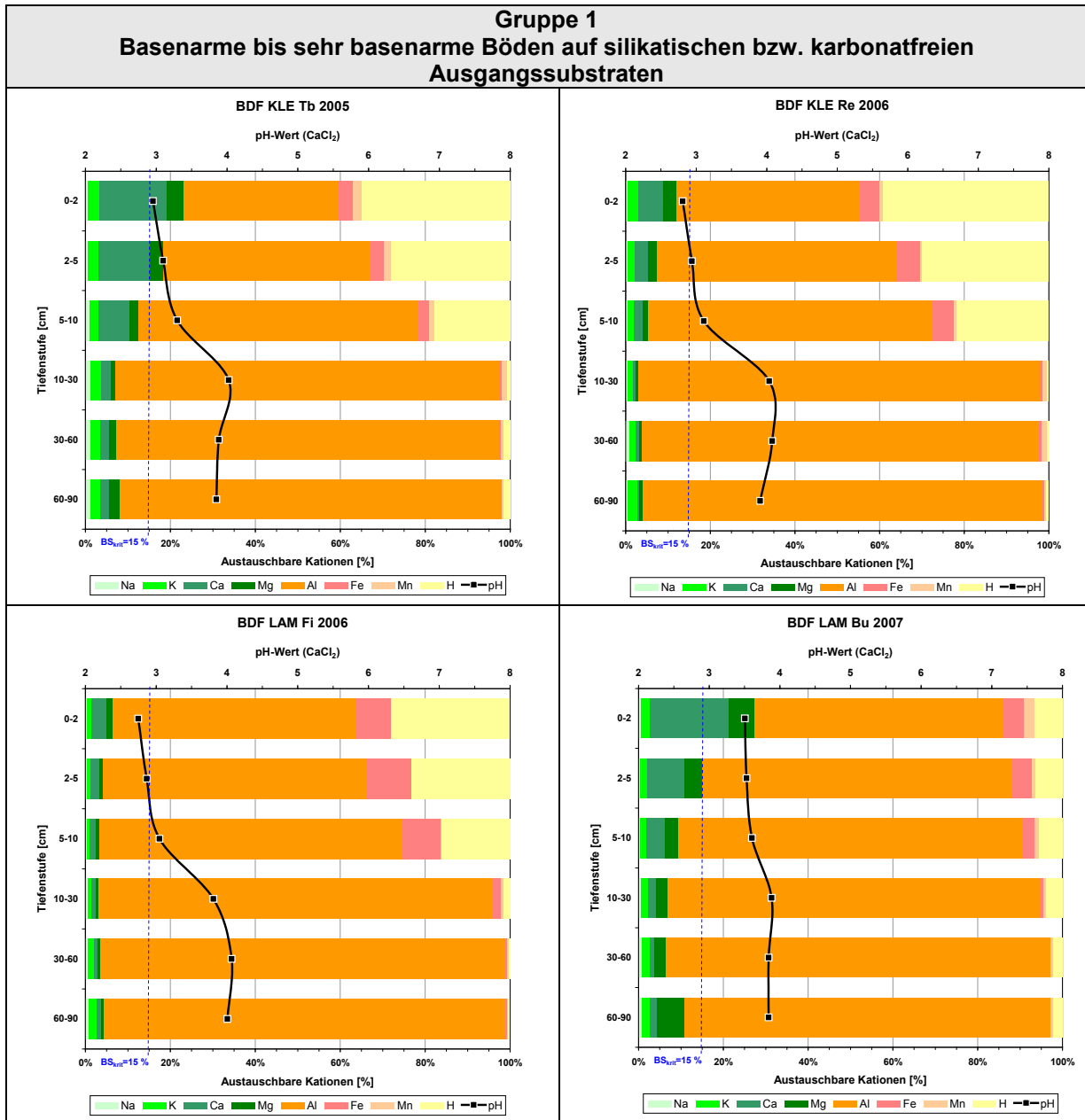
KAK _{eff} saure Kationen (Ma-Kationen)						
Al ³⁺	3	2	6	3	1	-
Fe ³⁺	9	-	-	-	6	-
Mn ²⁺	-	6	4	2	3	-
H ⁺	1	-	-	2	3	9
Abnahmen / Zunahmen	13	8	10	7	13	9

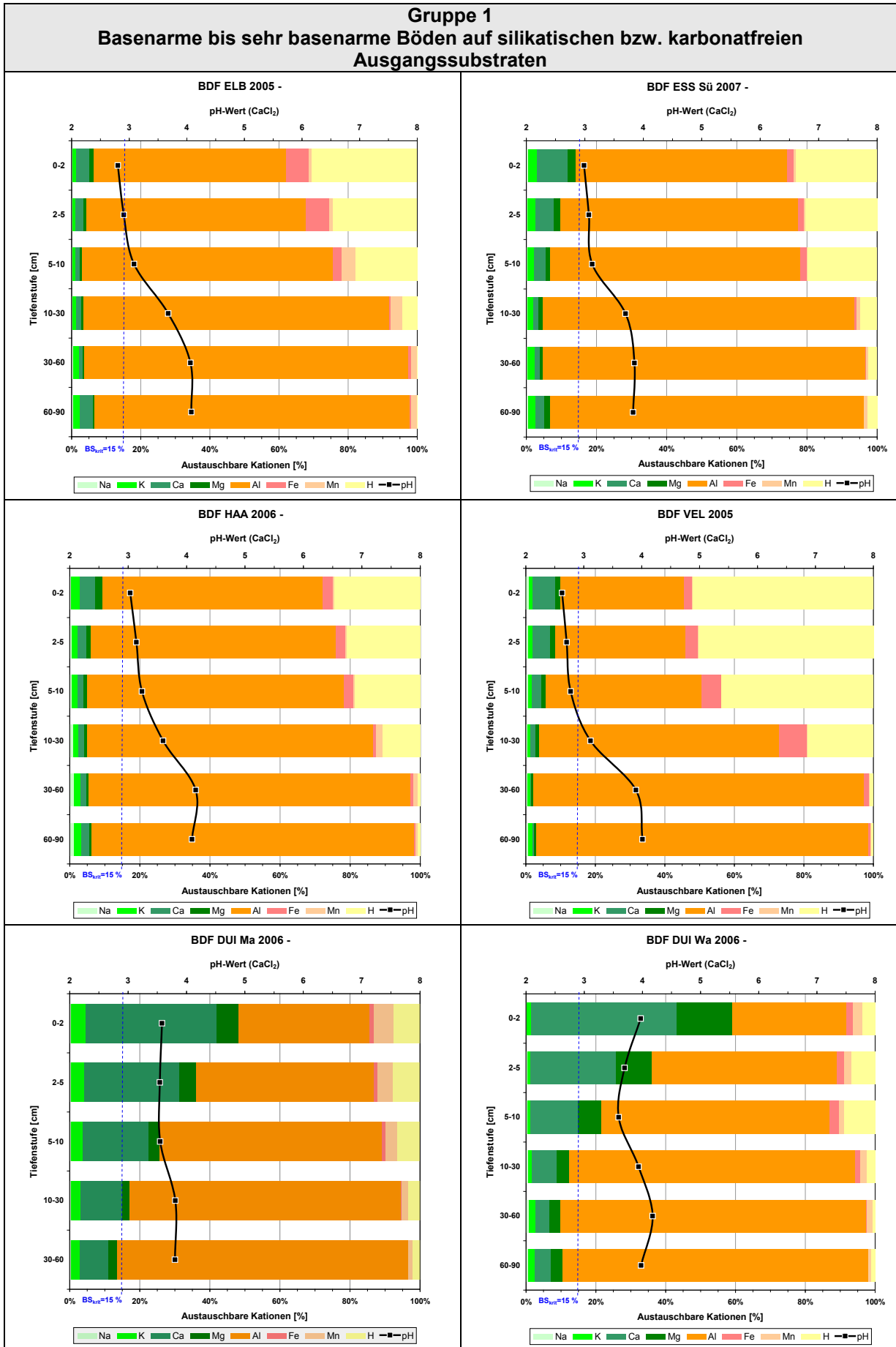
As und Schwermetalle [mg/kg] im KW-Extrakt						
As	1	3	3	1	2	5
Cd	2	7	2	-	3	1
Cr	2	3	2	5	2	1
Cu	-	1	7	2	4	1
Hg	-	-	-	-	-	15
Ni	1	4	4	3	2	1
Pb	4	3	5	1	-	2
Zn	2	4	6	1	1	1
Abnahmen / Zunahmen	12	25	29	13	14	27

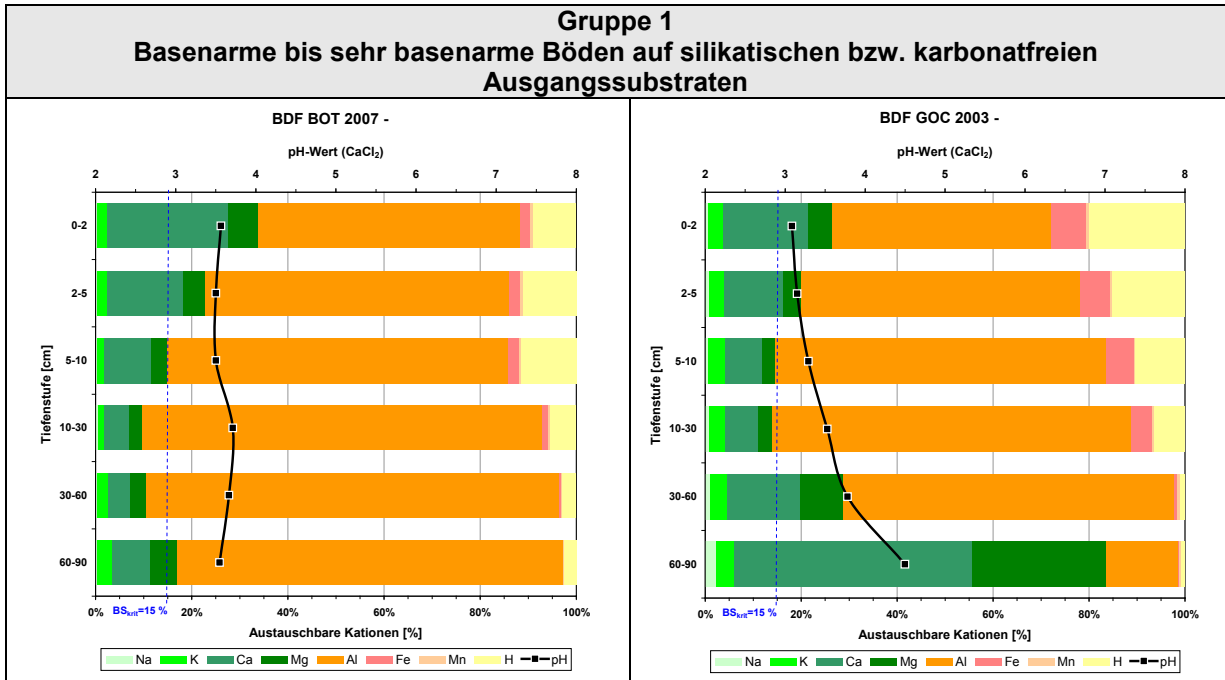
Humuskennwerte (C _{org} , N _t)						
C _{org} (%)	3	3	5	2	1	1
N _t (%)	7	5	1	-	-	2

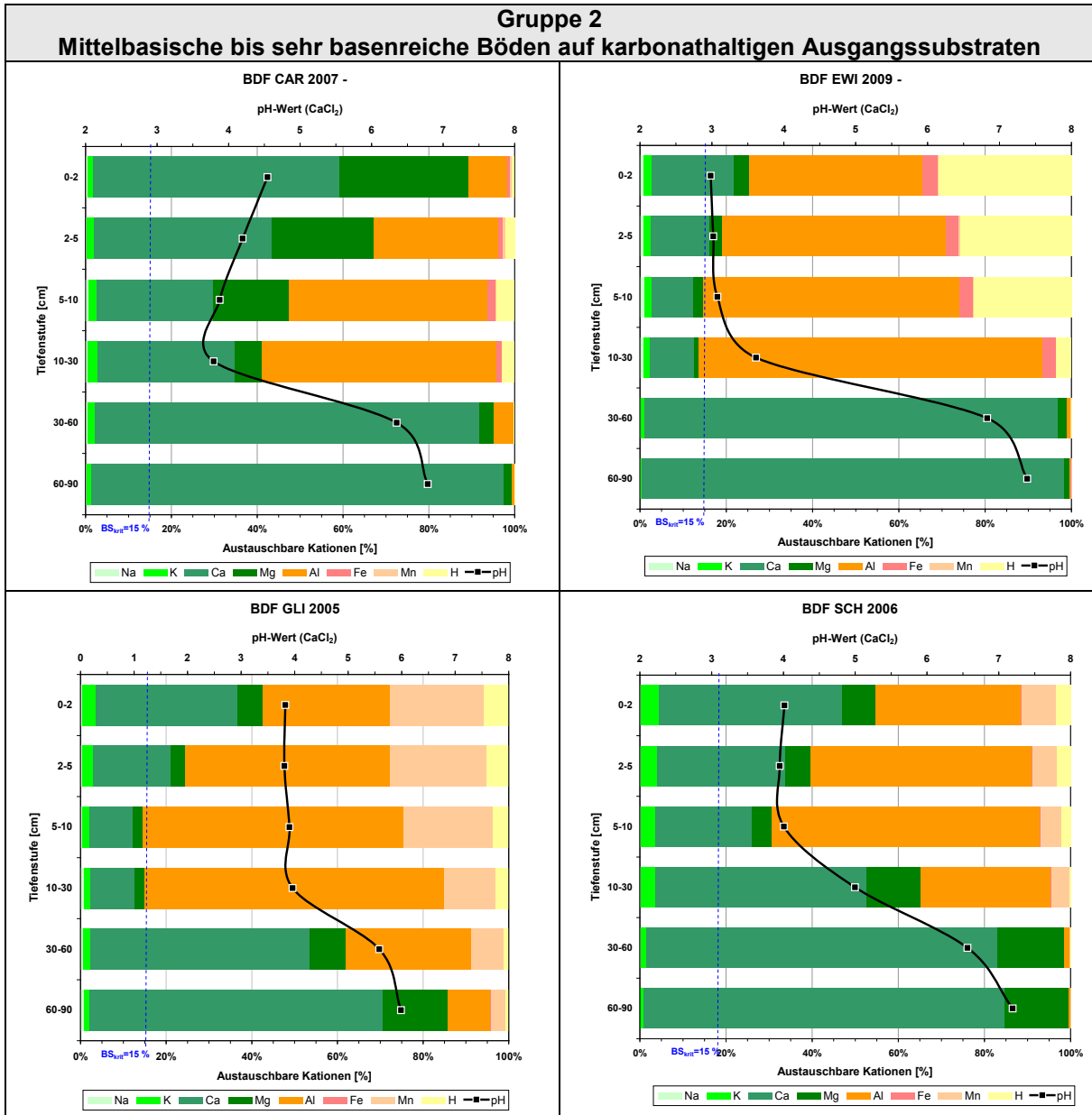
- *Anmerkungen:
- Der qualitative Vergleich der Parameter konnte nur bei einer Messwertbelegung für beide Beprobungstermine durchgeführt werden. Vereinzelt sind Kennwerte nur für einen Beprobungstermin analytisch bestimmt worden, so z. B. Quecksilber (Werte s. Spalte *kein Vergleich*).
 - Keine Vergleiche für GOC bei allen Tiefenstufen (Zweitbeprobung im Jahr 2013) und für DUI Ma bei den Tiefenstufen 0-2 und 2-5 cm (Erstbeprobung 0-5 cm, Zweitbeprobung 0-2 und 2-5 cm).
 - Die farbliche Kennzeichnung der aufsummierten Ab- bzw. Zunahmen innerhalb einer Gruppe gibt eine fachliche Bewertung der Veränderungen der bodenchemischen Parameter für den Messzeitraum wieder. Dabei sind die Zahlen in grüner Schriftfarbe als positive Entwicklung hinsichtlich des bodenchemischen Zustands der BDF zu deuten, die rote Schriftfarbe zeigt eine nachteilige Entwicklung der Bodenparameter an.
 - Auflagehorizonte – L/Of: ohne GOC. Oh: ohne GLI (Oh nur bei Erstbeprobung), GOC (keine Zweitbeprobung), SCH (Oh nur bei Zweitbeprobung), DUI Ma (Erstbeprobung: L/Of. Zweitbeprobung: L/Of/Oh-Mischhorizont bei L/Of ausgewertet).
 - 0-2 cm und 2-5 cm: Waldstandorte ohne GOC (keine ZB), DUI Ma (Abweichende Beprobungstiefen zwischen EB und ZB).
 - Tiefenstufen von 5 bis 60 cm: Alle BDF mit Ausnahme von GOC.
 - Ab einer Tiefe von 60 cm ist aufgrund unzureichender Datenbasis kein umfassender Vergleich zwischen Erst- und Zweitbeprobung mehr möglich.

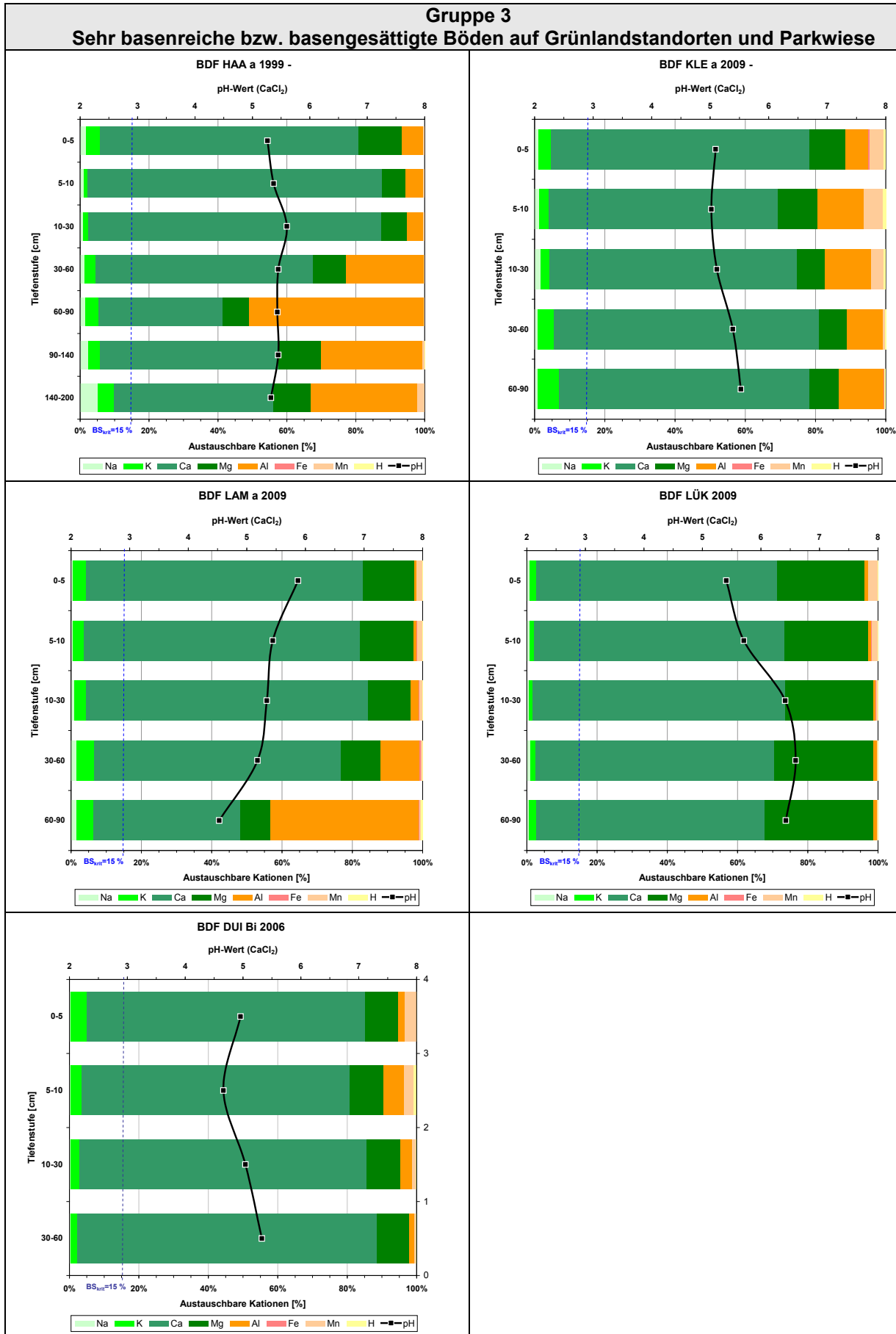
7.4 Austauscherbelegungen und pH-Werte der Tiefenstufen der Zweitbeprobung (GOC, HAAa Erstbeprobung)











7.5 Dokumentation der Ergebnisse einzelner BDF

7.5.1 Lammersdorf Fichte (LAM Fi)

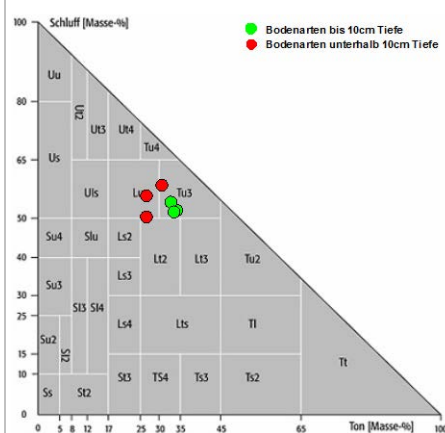
Auswahlkriterium:	Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung
Lage:	TK25 Blatt 5303 Rötgen, Eifel
Nutzung:	Nadelwald, Fichte
Bodentyp:	Braunerde-Pseudogley, stark podsolig
Bodeneigenschaften:	Gründigkeit mittel, mittlere Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm
Ausgangssubstrate der Bodenbildung:	Umlagerungsprodukte (Fließerden) des Holozän über Solifluktionsbildung (Weichsel-Kaltzeit, Pleistozän) über Phyllit (Kambrium)
Besonderheiten:	BDF direkt benachbart zur BDF LAM Bu und einer Level II-Fläche
Belastungssituation:	Schwermetallgehalte i. d. R. auf niedrigem Niveau. Anreicherungen von Blei bis 5 cm Tiefe konnten nur bei der Erstbeprobung festgestellt werden: Pb (0-2cm) = 513 mg/kg, Pb (2-5cm) = 328 mg/kg
Zeitliche Entwicklung:	Tendenziell leicht abnehmende Schadstoffgehalte. Basensättigung sehr gering (unterhalb BS_{krit} von 15% im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität)



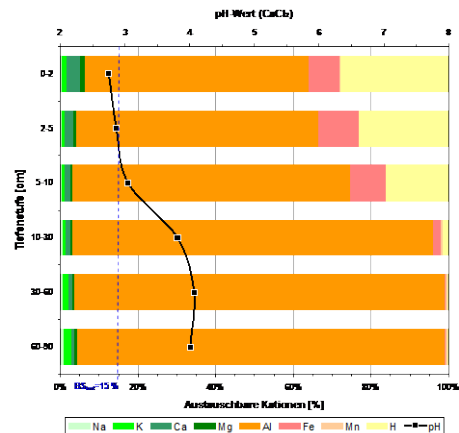
Standort unter Fichte in Lammersdorf (© LANUV)



Bodenprofil der oberen 20 cm (© LANUV)



Erstbeprobung – Bodenartendiagramm



Zweitbeprobung – Austauscherbelegung und pH-Wert

Tab. A 1: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobungen LAM Fi

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	3,1	o	6 / 6	0	2
	Oh	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,8	o	6 / 6	2	1
	0-2	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7	2,8	o	6 / 6	2	2
	2-5	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	o	6 / 6	1	2
	5-10	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	o	6 / 6	2	1
	10-30	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	o	6 / 6	1	2
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	7,7	8,8	9,7	5,6	6,4	6,7	-	6 / 6	7	7
	2-5	4,7	5,6	6,7	3,7	4,1	4,6	-	6 / 6	13	8
	5-10	3,6	4,0	4,6	2,6	3,3	5,2	-	6 / 6	10	30
	10-30	2,7	3,2	3,4	1,9	3,1	6,8	o	6 / 6	8	59
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3189	4912	6076	6310	8574	9911	++	6 / 6	20	14
	Oh	2802	3768	5147	7980	9194	10872	++	6 / 6	22	12
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	49,45	50,16	51,19	44,40	44,98	45,50	-	6 / 6	1	1
	Oh	36,43	40,80	44,72	31,30	33,47	34,80	-	6 / 6	8	4
	0-2	14,02	17,44	19,06	10,60	12,60	14,50	-	6 / 6	12	13
	2-5	9,36	11,16	13,67	6,41	8,03	8,97	-	6 / 6	17	12
	5-10	5,93	7,47	8,56	4,31	5,33	5,82	-	6 / 6	14	11
	10-30	2,57	3,03	3,15	1,94	2,37	2,77	-	6 / 6	7	14
N _i (%)	L/Of	2,05	2,12	2,23	1,80	1,84	1,91	-	6 / 6	3	2
	Oh	1,44	1,59	1,73	1,26	1,31	1,37	-	6 / 6	7	4
	0-2	0,58	0,73	0,80	0,40	0,52	0,62	-	6 / 6	12	15
	2-5	0,40	0,47	0,56	0,27	0,33	0,36	-	6 / 6	15	11
	5-10	0,27	0,33	0,37	0,19	0,22	0,25	--	6 / 6	13	11
	10-30	0,17	0,18	0,18	0,12	0,13	0,15	-	6 / 6	4	8
C/N-Verhältnis	L/Of	22	24	24	23	24	25	o	6 / 6	3	3
	Oh	25	26	27	25	26	27	o	6 / 6	3	4
	0-2	24	24	25	23	24	27	o	6 / 6	2	5
	2-5	23	24	24	23	24	26	o	6 / 6	2	4
	5-10	22	23	23	23	24	25	o	6 / 6	3	4
	10-30	16	17	18	16	18	20	o	6 / 6	5	7
Arsen (mg/kg)	L/Of	-	-	-	8,1	9,6	10,6	-	0 / 6		12
	Oh	-	-	-	28,0	29,8	31,2	-	0 / 6		4
	0-2	-	-	-	31,6	33,8	36,5	-	0 / 6		6
	2-5	-	-	-	24,2	26,7	28,0	-	0 / 6		5
	5-10	-	-	-	20,3	23,3	25,3	-	0 / 6		7
	10-30	-	-	-	17,8	21,8	23,4	-	0 / 6		9
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,70	0,76	0,83	0,61	0,70	0,80	o	2 / 6	12	11
	Oh	0,74	0,74	0,75	0,59	0,93	1,98	+	2 / 6	0	57
	0-2	0,36	0,37	0,38	0,19	0,33	0,58	-	2 / 6	4	41
	2-5	0,37	0,53	0,69	0,12	0,23	0,36	--	2 / 6	43	50
	5-10	0,31	1,04	1,76	0,11	0,24	0,38	--	2 / 6	99	53
	10-30	0,23	0,23	0,23	0,11	0,23	0,36	o	2 / 6	1	40

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	15,5	19,8	24,6	7,8	23,1	75,0	+	6 / 6	19	113
	Oh	20,8	26,0	30,0	13,4	18,6	28,0	-	6 / 6	11	28
	0-2	19,2	29,8	46,4	14,2	20,1	46,4	--	6 / 6	39	64
	2-5	19,6	21,2	23,1	15,9	23,6	58,2	+	6 / 6	7	72
	5-10	19,6	25,2	34,3	17,5	27,6	63,6	o	6 / 6	20	64
	10-30	27,3	31,7	33,6	22,5	38,3	98,0	+	6 / 6	7	77
Kupfer (mg/kg)	L/Of	28,2	34,7	42,3	18,5	22,0	24,5	--	6 / 6	13	11
	Oh	43,4	48,6	55,7	31,0	36,6	45,4	-	6 / 6	10	14
	0-2	16,9	23,0	27,1	11,1	14,9	17,5	--	6 / 6	15	17
	2-5	14,1	15,3	17,4	9,2	10,9	11,8	-	6 / 6	8	9
	5-10	11,7	13,0	15,5	9,4	10,3	11,5	-	6 / 6	10	7
	10-30	14,3	15,2	16,8	11,8	14,2	17,7	o	6 / 6	7	14
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
Nickel (mg/kg)	L/Of	11,3	18,7	24,6	8,0	15,8	41,1	-	6 / 6	30	82
	Oh	9,6	17,8	22,5	8,1	10,5	16,1	--	6 / 6	27	29
	0-2	7,1	14,9	32,2	2,6	6,0	19,2	--	6 / 6	70	109
	2-5	4,9	7,3	10,0	2,6	6,4	23,9	-	6 / 6	23	135
	5-10	1,5	10,2	28,8	2,6	7,0	25,3	--	6 / 6	97	129
	10-30	7,5	11,5	14,0	6,2	13,8	40,5	+	6 / 6	21	96
Blei (mg/kg)	L/Of	280	298	316	153	212	258	-	2 / 6	9	21
	Oh	854	939	1023	640	738	914	-	2 / 6	13	13
	0-2	494	513	532	175	254	331	--	2 / 6	5	24
	2-5	321	328	336	109	140	198	--	2 / 6	3	23
	5-10	138	140	141	69	77	88	--	2 / 6	2	11
	10-30	40	43	47	29	35	40	-	2 / 6	12	13
Zink (mg/kg)	L/Of	103	117	133	75	85	97	-	6 / 6	9	9
	Oh	103	120	135	64	83	128	--	6 / 6	10	28
	0-2	32	48	59	22	29	43	--	6 / 6	22	27
	2-5	20	36	42	21	24	34	--	6 / 6	22	20
	5-10	7	35	49	20	28	51	-	6 / 6	41	41
	10-30	30	49	56	36	44	51	-	6 / 6	19	14
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	393	609	832	592	665	738	o	6 / 6	36	9
	Oh	386	542	719	549	586	622	o	6 / 6	27	5
	0-2	328	381	412	315	336	363	-	6 / 6	8	6
	2-5	274	301	329	274	283	292	o	6 / 6	6	3
	5-10	222	261	295	247	270	296	o	6 / 6	10	6
	10-30	233	259	279	225	240	274	o	6 / 6	7	8
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	-	-	-	1316	1472	1627		0 / 6		9
	Oh	-	-	-	1154	1251	1324		0 / 6		5
	0-2	-	-	-	523	616	689		0 / 6		9
	2-5	-	-	-	397	435	467		0 / 6		6
	5-10	-	-	-	308	335	361		0 / 6		5
	10-30	-	-	-	277	307	328		0 / 6		6

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%$ = o gleich bleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.2 Kleve Tannenbusch (KLE Tb)

Auswahlkriterium: Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4203 Kalkar, Niederrheinisches Tiefland

Nutzung: Laubwald, Steileiche und Rotbuche

Bodentyp: Pseudogley-Braunerde, schwach podsoliger Oberboden

Bodeneigenschaft: sehr tiefgründig, schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm

Ausgangssubstrate: Löss (Jungpleistozän, teils Sandlöss (Weichsel über Schmelzwasserablagerungen (Saale-Kaltzeit, Pleistozän)

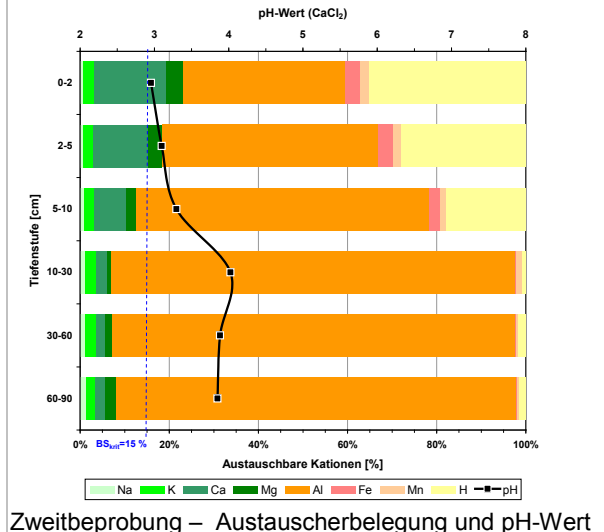
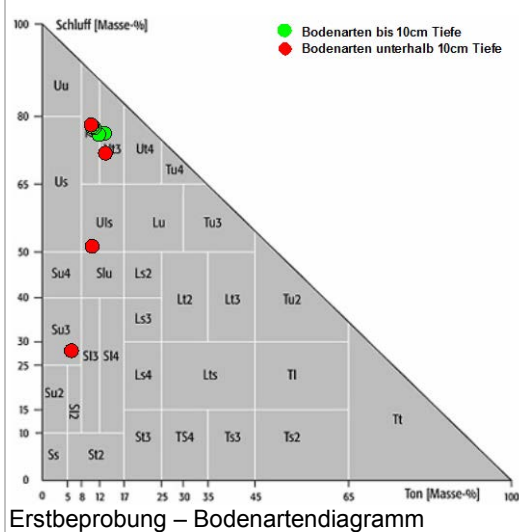
Besonderheiten: BDF direkt benachbart einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Niedriges Schadstoffniveau in der organischen Auflage und im Mineralboden

Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar.



Waldbestand der BDF (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 2: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung KLE Tb

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	-	-	-	3,2	3,3	3,4		0 / 6		3
	Oh	-	-	-	2,8	2,9	3,0		0 / 6		2
	0-2	2,9	3,1	3,2	2,9	3,0	3,0	o	6 / 6	4	1
	2-5	3,0	3,1	3,2	2,9	3,1	3,3	o	6 / 6	3	5
	5-10	3,1	3,3	3,4	3,1	3,3	3,5	o	6 / 6	4	6
	10-30	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	o	6 / 6	1	1
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	0-2	17,5	27,8	35,3	15,2	23,0	26,4	-	6 / 6	24	17
	2-5	12,7	19,3	23,6	15,6	18,2	21,9	o	6 / 6	20	13
	5-10	10,1	14,3	17,0	10,5	12,4	15,3	-	6 / 6	19	16
	10-30	7,0	9,2	10,6	5,6	7,1	8,2	-	6 / 6	17	15
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	7123	8379	10773	5900	7045	8147	-	6 / 6	15	13
	Oh	7371	8765	10024	4220	6501	9549	-	6 / 6	13	32
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	31,80	38,48	41,65	35,50	39,23	42,10	o	6 / 6	9	7
	Oh	18,02	20,11	23,20	17,50	20,23	23,50	o	6 / 6	9	10
	0-2	6,34	7,75	8,56	7,08	9,19	11,40	+	6 / 6	11	15
	2-5	3,67	4,66	5,71	3,25	5,99	8,32	+	6 / 6	18	34
	5-10	2,39	2,80	3,06	2,09	3,24	4,34	+	6 / 6	10	29
	10-30	1,37	1,67	1,78	0,44	0,78	1,15	--	6 / 6	9	34
N _i (%)	L/Of	1,46	1,86	1,98	1,77	1,94	2,05	o	6 / 6	11	6
	Oh	0,94	1,05	1,24	1,00	1,09	1,27	o	6 / 6	10	10
	0-2	0,33	0,43	0,48	0,39	0,50	0,64	+	6 / 6	12	16
	2-5	0,21	0,26	0,32	0,17	0,32	0,47	+	6 / 6	17	35
	5-10	0,14	0,16	0,17	0,11	0,17	0,23	o	6 / 6	7	30
	10-30	0,08	0,10	0,11	0,03	0,04	0,06	--	6 / 6	10	25
C/N-Verhältnis	L/Of	20	21	22	20	20	21	o	6 / 6	4	1
	Oh	19	19	20	18	19	19	o	6 / 6	3	3
	0-2	17	18	19	18	18	19	o	6 / 6	4	2
	2-5	17	18	19	18	19	20	o	6 / 6	4	3
	5-10	17	18	19	19	19	20	o	6 / 6	5	2
	10-30	17	18	19	14	17	20	o	6 / 6	4	12
Arsen (mg/kg)	L/Of	1,8	2,4	2,9	1,5	4,7	14,0	++	4 / 6	21	101
	Oh	6,0	6,3	6,7	7,0	8,0	10,0	+	4 / 6	5	14
	0-2	7,0	7,8	8,5	8,9	9,7	11,0	+	4 / 6	8	9
	2-5	6,4	7,7	8,4	6,0	8,0	9,0	o	4 / 6	12	14
	5-10	3,8	4,5	5,1	6,0	6,6	7,0	++	4 / 6	12	7
	10-30	2,3	2,4	2,4	1,3	2,7	5,2	+	4 / 6	4	66
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,28	0,69	0,91	0,35	0,38	0,42	--	6 / 6	36	7
	Oh	0,30	0,33	0,41	0,21	0,26	0,32	-	6 / 6	13	15
	0-2	0,10	0,13	0,25	0,07	0,10	0,12	-	6 / 6	44	18
	2-5	0,05	0,08	0,15	0,04	0,07	0,10	o	6 / 6	49	28
	5-10	0,04	0,06	0,13	0,01	0,09	0,32	++	6 / 6	66	137
	10-30	0,04	0,07	0,14	0,01	0,09	0,38	++	6 / 6	58	158

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	14,1	19,3	24,2	5,8	7,0	8,0	--	6 / 6	22	13
	Oh	15,5	19,4	25,9	11,2	12,4	13,6	--	6 / 6	19	8
	0-2	12,8	16,3	18,1	11,3	12,2	13,1	-	6 / 6	13	5
	2-5	13,0	15,7	18,0	11,2	12,6	14,3	-	6 / 6	13	10
	5-10	13,9	16,4	18,8	11,8	13,1	13,9	-	6 / 6	14	6
	10-30	13,2	16,5	19,7	12,7	14,0	14,8	-	6 / 6	14	7
Kupfer (mg/kg)	L/Of	20,5	26,7	29,5	18,9	21,5	24,0	-	6 / 6	13	9
	Oh	22,3	24,6	28,1	19,6	23,2	31,5	o	6 / 6	9	19
	0-2	10,7	14,7	19,4	10,7	12,6	15,6	-	6 / 6	24	13
	2-5	6,8	10,6	17,6	7,2	10,3	11,9	o	6 / 6	39	17
	5-10	4,1	5,4	8,7	4,8	6,7	8,4	+	6 / 6	32	22
	10-30	2,7	3,7	5,3	2,1	2,7	3,3	-	6 / 6	29	17
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,21	0,43	0,62	-	-	-	-	4 / 0	40	
	Oh	0,26	0,42	0,51	-	-	-	-	4 / 0	27	
	0-2	0,21	0,32	0,39	-	-	-	-	4 / 0	26	
	2-5	0,18	0,28	0,34	-	-	-	-	4 / 0	25	
	5-10	0,16	0,21	0,24	-	-	-	-	4 / 0	16	
	10-30	0,12	0,16	0,22	-	-	-	-	4 / 0	27	
Nickel (mg/kg)	L/Of	10,1	14,4	20,3	5,7	6,2	6,9	--	6 / 6	31	8
	Oh	8,3	12,7	16,8	5,8	7,2	8,5	--	6 / 6	28	12
	0-2	4,6	7,5	10,3	3,9	5,1	5,6	--	6 / 6	26	12
	2-5	3,9	7,3	10,2	4,0	4,8	5,8	--	6 / 6	36	13
	5-10	4,1	7,7	11,2	4,4	4,9	5,5	--	6 / 6	36	8
	10-30	5,8	9,0	14,3	5,9	7,1	8,0	-	6 / 6	36	11
Blei (mg/kg)	L/Of	80	110	134	47	281	1211	++	6 / 6	17	164
	Oh	127	147	174	110	129	200	-	6 / 6	11	27
	0-2	61	76	86	61	76	95	o	6 / 6	11	15
	2-5	51	56	68	37	55	69	o	6 / 6	12	22
	5-10	31	37	46	25	35	44	o	6 / 6	14	24
	10-30	13	16	18	7	8	10	--	6 / 6	12	13
Zink (mg/kg)	L/Of	68	90	111	45	50	53	--	6 / 6	20	5
	Oh	42	53	67	34	41	48	-	6 / 6	21	11
	0-2	26	31	35	21	27	30	-	6 / 6	10	11
	2-5	21	25	28	19	22	27	-	6 / 6	10	12
	5-10	21	24	29	18	19	21	-	6 / 6	13	5
	10-30	21	24	27	20	21	21	-	6 / 6	11	3
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	381	488	579	596	626	685	+	6 / 6	15	5
	Oh	341	415	505	418	469	513	+	6 / 6	16	6
	0-2	293	439	543	387	419	454	o	6 / 6	19	6
	2-5	290	375	448	257	342	406	o	6 / 6	20	15
	5-10	194	249	299	166	247	305	o	6 / 6	18	22
	10-30	151	190	263	140	172	204	o	6 / 6	22	12
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1653	2033	2189	1540	1757	1900	-	6 / 6	10	8
	Oh	1230	1304	1443	950	1073	1327	-	6 / 6	7	13
	0-2	482	593	670	451	567	662	o	6 / 6	12	12
	2-5	314	377	464	235	383	509	o	6 / 6	17	27
	5-10	208	231	258	152	229	307	o	6 / 6	7	26
	10-30	135	156	179	94	110	127	-	6 / 6	10	11

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%$ = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%$ = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.3 Kleve Rehsol (KLE Re)

Auswahlkriterium: Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4202 Kleve, Niederrheinische Höhen

Nutzung: Laubwald, Rotbuche (vereinzelt Fichte)

Bodentyp: Pseudogley-Braunerden und Pseudogley-Parabraunerden

Bodeneigenschaft: tiefgründig, sehr schwache bis schwache Staunässe, kein Grundwasser-
einfluss, basenarm

Ausgangssubstrate: Löss, teils Sandlöss (Weichsel-Kaltzeit über Fließerde (Pleistozän über
der Bodenbildung Schmelzwasserablagerungen (Saale-Kaltzeit

Besonderheiten: Innerhalb der Naturwaldzelle NZ13 mit Bestands-Biomonitoring

Belastungssituation: Niedriges Schadstoffniveau in der organischen Auflage und im Mineralboden (Quecksilbergehalt wurde nicht bestimmt)

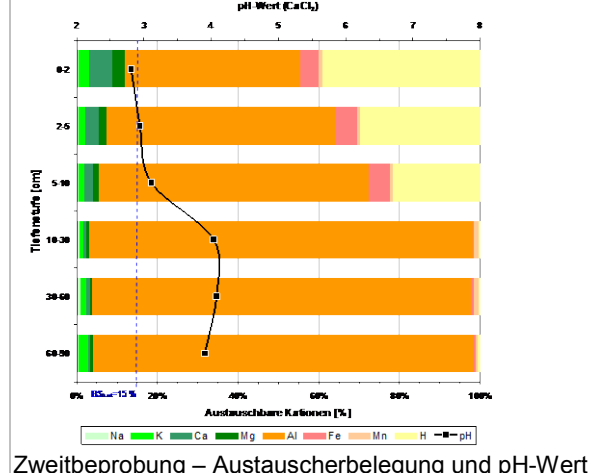
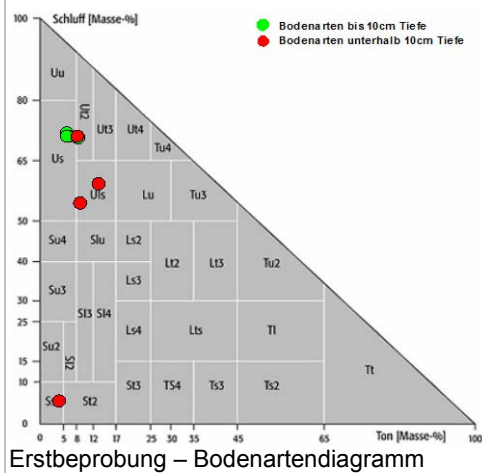
Zeitliche Entwicklung: Trendanalyse für Schwermetalle nicht möglich, da keine Bestimmung der
Parameter bei der Erstbeprobung. Geringfügige Abnahme der BS auf konstantem pH-Werte-Niveau in Tiefen unterhalb 2 cm. Basensättigung sehr gering (unterhalb BS_{krit} von 15% im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität).



Waldbestand der BDF (© Geologischer Dienst NRW)



Bodenprofil einer Pseudogley-Braunerde (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 3: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung KLE Re

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,2	3,3	3,4	3,0	3,0	3,1	o	6 / 6	3	1
	Oh	2,7	2,8	2,9	2,6	2,7	2,8	o	6 / 6	3	2
	0-2	2,6	2,6	2,8	2,7	2,8	2,9	o	6 / 6	3	2
	2-5	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,1	o	6 / 6	2	2
	5-10	2,8	2,9	3,1	3,0	3,1	3,3	o	6 / 6	3	3
	10-30	3,5	3,6	3,7	4,0	4,0	4,1	+	6 / 6	2	1
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	9,4	10,9	12,7	9,4	11,9	14,9	o	6 / 6	10	17
	2-5	7,5	8,3	9,0	5,7	7,3	9,4	-	6 / 6	8	17
	5-10	5,0	6,0	7,1	3,6	5,4	7,5	-	6 / 6	12	25
	10-30	3,1	3,9	4,4	2,4	3,0	4,3	-	6 / 6	14	24
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	4468	4994	5535	5311	6915	8078	++	6 / 6	9	16
	Oh	1375	1407	1446	2383	3195	4692	++	6 / 6	2	26
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	42,56	45,28	46,39	42,40	44,35	45,80	o	6 / 6	3	2
	Oh	15,78	20,07	23,28	20,60	23,53	27,60	+	6 / 6	16	12
	0-2	9,40	10,50	12,36	7,53	10,05	11,90	o	6 / 6	10	15
	2-5	5,26	7,55	10,34	4,36	5,96	7,67	-	6 / 6	24	21
	5-10	3,47	4,61	6,20	3,12	4,14	4,83	-	6 / 6	21	16
	10-30	1,69	1,83	2,02	1,11	1,32	1,55	-	6 / 6	7	14
N _i (%)	L/Of	2,02	2,16	2,28	1,88	1,96	2,02	o	6 / 6	4	3
	Oh	0,82	1,00	1,17	1,00	1,12	1,31	+	6 / 6	14	11
	0-2	0,47	0,51	0,59	0,33	0,44	0,51	-	6 / 6	9	15
	2-5	0,26	0,37	0,49	0,19	0,24	0,31	--	6 / 6	22	20
	5-10	0,16	0,21	0,29	0,13	0,16	0,20	-	6 / 6	22	16
	10-30	0,08	0,09	0,11	0,04	0,05	0,06	--	6 / 6	14	12
C/N-Verhältnis	L/Of	20	21	22	22	23	24	o	6 / 6	3	3
	Oh	19	20	21	20	21	22	o	6 / 6	4	3
	0-2	20	21	22	21	23	24	+	6 / 6	3	5
	2-5	19	21	22	22	25	28	+	6 / 6	5	8
	5-10	20	22	23	23	26	31	+	6 / 6	5	11
	10-30	18	20	21	24	26	31	+	6 / 6	7	10
Arsen (mg/kg)	L/Of	-	-	-	0,9	3,2	4,1	-	0 / 6		36
	Oh	-	-	-	6,0	6,9	7,9	-	0 / 6		11
	0-2	-	-	-	6,8	7,5	8,1	-	0 / 6		7
	2-5	-	-	-	6,9	7,7	8,1	-	0 / 6		6
	5-10	-	-	-	4,7	6,6	8,1	-	0 / 6		17
	10-30	-	-	-	2,0	2,2	2,4	-	0 / 6		6
Cadmium (mg/kg)	L/Of	-	-	-	0,25	0,29	0,34	-	0 / 6		12
	Oh	-	-	-	0,17	0,20	0,23	-	0 / 6		12
	0-2	-	-	-	0,05	0,08	0,10	-	0 / 6		21
	2-5	-	-	-	0,04	0,05	0,06	-	0 / 6		19
	5-10	-	-	-	0,04	0,04	0,04	-	0 / 6		0
	10-30	-	-	-	0,05	0,08	0,10	-	0 / 6		22

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	-	-	-	3,1	11,4	47,2		0 / 6		154
	Oh	-	-	-	9,4	12,8	26,3		0 / 6		52
	0-2	-	-	-	8,4	11,1	21,5		0 / 6		47
	2-5	-	-	-	7,9	11,8	20,3		0 / 6		44
	5-10	-	-	-	8,0	11,6	16,2		0 / 6		31
	10-30	-	-	-	9,9	14,5	23,3		0 / 6		40
Kupfer (mg/kg)	L/Of	-	-	-	15,5	16,7	17,4		0 / 6		5
	Oh	-	-	-	13,8	24,0	48,5		0 / 6		52
	0-2	-	-	-	6,4	13,0	31,5		0 / 6		71
	2-5	-	-	-	3,6	8,7	28,1		0 / 6		110
	5-10	-	-	-	3,2	6,2	19,9		0 / 6		109
	10-30	-	-	-	1,8	2,1	2,5		0 / 6		14
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
Nickel (mg/kg)	L/Of	-	-	-	4,4	8,8	26,8		0 / 6		101
	Oh	-	-	-	6,0	8,3	15,7		0 / 6		45
	0-2	-	-	-	3,3	4,7	10,2		0 / 6		59
	2-5	-	-	-	2,3	4,2	8,2		0 / 6		60
	5-10	-	-	-	2,3	3,9	6,1		0 / 6		43
	10-30	-	-	-	4,2	6,2	10,5		0 / 6		45
Blei (mg/kg)	L/Of	-	-	-	41	56	61		0 / 6		13
	Oh	-	-	-	118	155	183		0 / 6		18
	0-2	-	-	-	60	76	89		0 / 6		13
	2-5	-	-	-	43	50	59		0 / 6		15
	5-10	-	-	-	32	37	46		0 / 6		13
	10-30	-	-	-	7	9	10		0 / 6		11
Zink (mg/kg)	L/Of	-	-	-	43	47	51		0 / 6		5
	Oh	-	-	-	33	42	47		0 / 6		13
	0-2	-	-	-	18	23	25		0 / 6		11
	2-5	-	-	-	13	16	18		0 / 6		11
	5-10	-	-	-	14	15	16		0 / 6		4
	10-30	-	-	-	16	18	18		0 / 6		4
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	380	458	512	533	568	620	+	6 / 6	11	5
	Oh	345	429	482	459	493	536	+	6 / 6	14	6
	0-2	271	299	351	303	345	392	+	6 / 6	11	11
	2-5	218	275	337	216	265	332	o	6 / 6	16	18
	5-10	157	194	222	190	220	269	+	6 / 6	13	13
	10-30	132	150	172	161	179	201	+	6 / 6	8	9
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	-	-	-	1427	1583	1689		0 / 6		6
	Oh	-	-	-	1052	1222	1339		0 / 6		9
	0-2	-	-	-	462	606	713		0 / 6		16
	2-5	-	-	-	306	368	435		0 / 6		16
	5-10	-	-	-	197	250	300		0 / 6		15
	10-30	-	-	-	102	107	115		0 / 6		5

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%$ = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.4 Velmerstot (VEL)

Auswahlkriterium: Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4119 Horn - Bad Meinberg, Ostwestfalen

Nutzung: Nadelwald, Fichte

Bodentyp: Braunerde-Podsol aus Solifluktionsbildung (Pleistozän

Bodeneigenschaft: mittlere Gründigkeit, kein Stau-/Grundwassereinfluss, sehr basenarm
ten:

Ausgangssubstrate der Bodenbildung - Fließerden (Hauptlage, Weichsel-Kaltzeit, Spätglazial)
- über Fließerde (Basislage, Weichsel-Kaltzeit, Frühglazial)
- über Schluff- und Sandsteinen der Unterkreide („Flammenmergel“, karbonatfrei, verwittert basenarm)

Besonderheiten: Direkt benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Schwermetallgehalte auf niedrigem Niveau. Eine Ausnahme bilden die Bleigehalte der organischen Auflage (Oh-Horizont mit 856 mg/kg bei der Erstbeprobung).

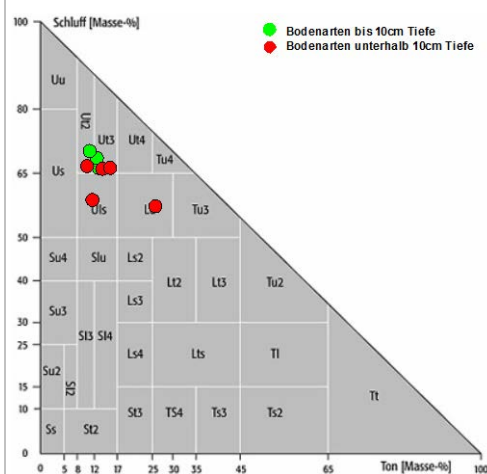
Zeitliche Entwicklung: Trend mit deutlicher Abnahme erkennbar. Vor allem die Schwermetallgehalte der Zweitbeprobung sind gegenüber der ersten Inventur deutlich niedriger. Sehr wahrscheinlich ist dies auf Standortheterogenitäten zurückzuführen. Basensättigung sehr gering (unterhalb BS_{krit} von 15% im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität).



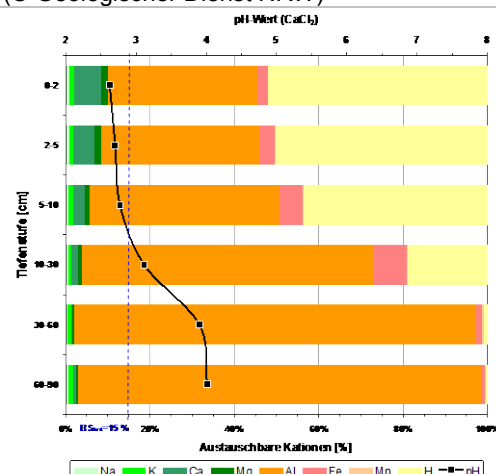
Blick auf die BDF (© Geologischer Dienst NRW)



Oberboden im Profil eines Braunerde-Podsols (© Geologischer Dienst NRW)



Erstbeprobung – Bodenartendiagramm



Zweitbeprobung – Austauscherbelegung und pH-Wert

Tab. A 4: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung VEL

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	-	-	-	2,8	2,8	2,8		0 / 6		1
	Oh	-	-	-	2,5	2,6	2,6		0 / 6		1
	0-2	2,6	2,7	2,7	2,5	2,6	2,7	o	6 / 6	2	2
	2-5	2,7	2,8	2,8	2,6	2,7	2,7	o	6 / 6	2	2
	5-10	2,8	2,8	2,9	2,7	2,8	2,8	o	6 / 6	1	2
	10-30	2,9	3,2	3,6	2,9	3,1	3,4	o	6 / 5	9	6
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	100,0	100,0	100,0		0 / 1		0
	0-2	6,7	8,9	12,2	8,3	9,8	13,4	+	6 / 6	24	19
	2-5	4,8	7,4	10,1	5,8	8,4	14,5	+	6 / 6	31	38
	5-10	3,5	5,7	8,3	4,6	6,0	9,1	o	6 / 6	30	31
	10-30	3,0	4,6	8,3	2,2	4,5	9,0	o	6 / 5	43	64
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	4359	5588	6422	4959	5781	6086	o	6 / 6	13	7
	Oh	3874	4809	5693	9459	13545	22377	++	0 / 0	15	36
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	46,98	48,73	50,59	45,30	45,85	46,60	o	6 / 6	3	1
	Oh	35,70	37,71	39,62	28,80	31,40	33,40	-	6 / 6	3	6
	0-2	9,88	13,07	19,43	6,45	8,12	9,28	--	6 / 6	26	14
	2-5	4,02	6,40	10,55	4,01	5,11	7,02	-	6 / 6	34	23
	5-10	3,38	4,52	6,20	2,50	3,52	4,44	-	6 / 6	22	18
	10-30	2,34	2,72	3,69	0,97	2,66	3,47	o	6 / 5	19	38
N _i (%)	L/Of	1,83	1,93	2,00	1,75	1,82	1,86	o	6 / 6	3	2
	Oh	1,35	1,42	1,50	1,09	1,19	1,26	-	6 / 6	5	6
	0-2	0,39	0,50	0,72	0,23	0,29	0,34	--	6 / 6	24	14
	2-5	0,13	0,24	0,39	0,12	0,16	0,24	--	6 / 6	37	29
	5-10	0,12	0,16	0,23	0,07	0,10	0,14	--	6 / 6	25	26
	10-30	0,09	0,11	0,12	0,04	0,09	0,11	-	6 / 5	11	33
C/N-Verhältnis	L/Of	24	25	26	25	25	26	o	6 / 6	3	2
	Oh	25	27	28	26	26	27	o	6 / 6	3	1
	0-2	25	26	27	27	28	29	o	6 / 6	3	3
	2-5	26	27	31	29	33	35	+	6 / 6	7	6
	5-10	25	28	31	30	35	40	+	6 / 6	8	11
	10-30	23	25	30	26	30	33	+	6 / 5	10	11
Arsen (mg/kg)	L/Of	-	-	-	6,0	8,5	14,0		0 / 6		38
	Oh	-	-	-	13,0	16,5	20,0		0 / 6		17
	0-2	-	-	-	6,0	10,1	19,0		0 / 6		49
	2-5	-	-	-	5,5	8,3	16,0		0 / 6		50
	5-10	-	-	-	5,1	7,8	13,0		0 / 6		40
	10-30	-	-	-	6,0	9,4	15,0		0 / 5		39
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,55	0,61	0,65	0,04	0,21	0,34	--	6 / 6	7	67
	Oh	0,34	0,42	0,47	0,02	0,13	0,24	--	6 / 6	11	85
	0-2	0,10	0,14	0,21	0,04	0,07	0,15	--	6 / 6	29	64
	2-5	0,04	0,08	0,14	0,02	0,04	0,07	--	6 / 6	53	45
	5-10	0,04	0,05	0,07	0,03	0,03	0,05	--	5 / 6	26	24
	10-30	0,04	0,06	0,08	0,03	0,05	0,06	-	6 / 5	31	29

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	15,8	19,4	22,5	8,8	11,4	14,1	--	6 / 6	14	17
	Oh	20,0	22,8	25,0	12,9	15,6	20,2	--	6 / 6	9	17
	0-2	9,4	11,2	13,1	4,7	7,4	8,1	--	6 / 6	12	18
	2-5	8,8	11,0	12,2	4,0	7,1	8,4	--	6 / 6	12	23
	5-10	8,9	11,5	14,5	4,2	8,4	12,1	-	5 / 6	22	32
	10-30	7,9	16,2	23,3	5,1	14,5	18,2	-	6 / 5	36	37
Kupfer (mg/kg)	L/Of	35,0	43,1	55,1	27,0	32,0	34,2	-	6 / 6	18	8
	Oh	58,6	60,1	62,9	43,0	46,9	53,0	-	6 / 6	2	10
	0-2	12,5	16,6	26,5	6,0	9,5	15,0	--	6 / 6	33	36
	2-5	4,3	7,6	14,7	3,0	5,8	9,0	-	6 / 6	49	45
	5-10	3,3	5,0	7,3	2,3	4,4	8,0	-	5 / 6	33	48
	10-30	2,4	4,1	5,3	3,0	4,0	5,0	o	6 / 5	23	24
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	-	-	-	0,46	0,56	0,65		0 / 6		12
	Oh	-	-	-	0,73	0,81	0,89		0 / 6		7
	0-2	-	-	-	0,03	0,07	0,16		0 / 6		74
	2-5	-	-	-	0,02	0,05	0,11		0 / 6		71
	5-10	-	-	-	0,01	0,04	0,08		0 / 6		66
	10-30	-	-	-	0,02	0,04	0,08		0 / 5		55
Nickel (mg/kg)	L/Of	12,3	14,6	16,4	7,5	8,8	10,0	--	6 / 6	12	12
	Oh	12,5	15,1	18,2	7,2	8,9	11,2	--	6 / 6	16	17
	0-2	3,2	4,9	7,6	0,6	1,1	1,5	--	6 / 6	39	37
	2-5	2,7	3,7	4,6	0,6	1,0	1,3	--	6 / 6	21	30
	5-10	1,4	3,2	5,6	0,6	1,0	1,5	--	6 / 6	47	40
	10-30	2,9	4,1	6,2	0,9	2,2	2,9	--	6 / 5	29	37
Blei (mg/kg)	L/Of	366	457	646	202	238	278	--	6 / 6	22	14
	Oh	742	857	1010	548	584	633	--	6 / 6	12	6
	0-2	172	248	412	70	116	174	--	6 / 6	40	40
	2-5	59	110	224	38	67	113	--	6 / 6	54	50
	5-10	38	60	94	27	42	66	--	6 / 6	35	38
	10-30	32	40	52	19	43	91	o	6 / 5	22	65
Zink (mg/kg)	L/Of	121	138	153	66	77	88	--	6 / 6	10	10
	Oh	108	126	141	62	73	100	--	6 / 6	10	20
	0-2	19	27	38	9	11	14	--	6 / 6	27	15
	2-5	12	15	21	8	9	12	--	6 / 6	21	18
	5-10	11	13	14	7	10	15	-	6 / 6	9	29
	10-30	10	17	23	8	16	22	o	6 / 5	33	32
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	521	616	720	720	742	779	+	6 / 6	15	3
	Oh	479	551	679	463	488	557	-	6 / 6	13	7
	0-2	192	237	265	156	183	225	-	6 / 6	13	13
	2-5	161	200	248	134	148	196	-	6 / 6	16	16
	5-10	132	193	290	116	163	240	-	6 / 6	29	30
	10-30	148	215	270	102	207	240	o	6 / 5	24	28
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	2020	2140	2253	1600	1807	2000	-	6 / 6	4	8
	Oh	1729	1790	1882	1100	1350	1570	-	6 / 6	4	14
	0-2	552	699	957	285	356	397	--	6 / 6	21	12
	2-5	199	334	549	135	204	313	--	6 / 6	35	32
	5-10	157	218	318	90	132	175	--	6 / 6	27	26
	10-30	120	162	188	60	139	173	-	6 / 5	17	33

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.5 Elberndorf (ELB)

Auswahlkriterium: Emittententfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4915 Wingeshausen, Sauerland-Siegerland

Nutzung: Nadelwald, Fichte

Bodentyp: Pseudogley-Braunerde, schwach podsolig

Bodeneigenschaften: mittlere Gründigkeit, mittlere Staunässe, kein Grundwassereinfluss, sehr basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: - Fließerden (Hauptlage, Weichsel-Kaltzeit, Spätglazial)
 - über Fließerde (Basislage, Weichsel-Kaltzeit, Frühglazial)
 - über Sand- und Tonsteinen und Quarziten der Oberen „Siegen-Schichten“ (Unterdevon)

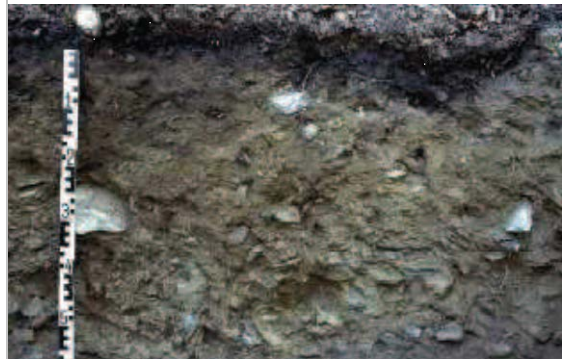
Besonderheiten: benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Schwermetallgehalte auf niedrigem Niveau. Ausnahme: Arsengehalte in den oberen Tiefenstufen erhöht (0-2 cm: ca. 20 mg/kg, 2-5 cm: ca. 13 mg/kg).

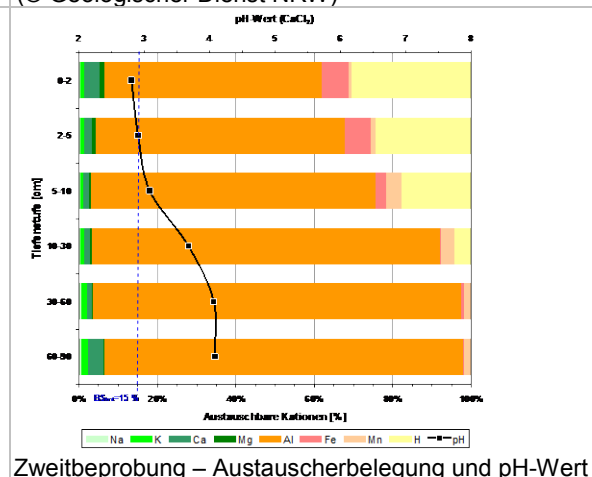
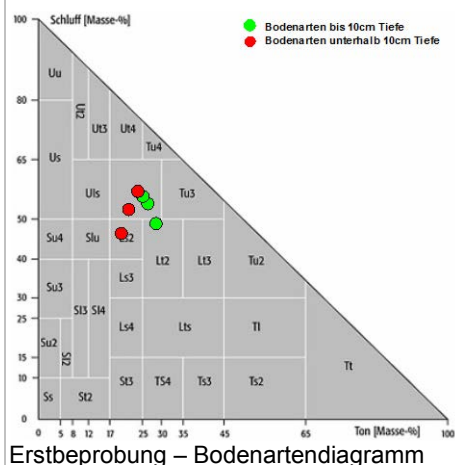
Zeitliche Entwicklung: Deutliche Abnahme der Schwermetallgehalte (Ausnahme Arsen). Ursache ist möglicherweise die Standortheterogenität zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Basensättigung sehr gering (unterhalb BS_{krit} von 15% im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität).



Fichtenbestand der BDF
 (© Geologischer Dienst NRW)



Oberer Profilbereich einer schwach podsoligen Braunerde
 (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 5: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung ELB

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	-	-	-	3,0	3,1	3,2		0 / 6		2
	Oh	-	-	-	2,7	2,7	2,8		0 / 6		1
	0-2	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	o	6 / 6	1	0
	2-5	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	o	6 / 6	2	1
	5-10	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	o	6 / 6	2	1
	10-30	3,4	3,8	4,0	3,5	3,7	3,8	o	6 / 6	5	3
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	0-2	6,3	7,7	9,0	5,7	6,5	7,5	-	6 / 6	12	10
	2-5	4,2	4,8	5,4	3,5	4,3	5,3	-	6 / 6	10	18
	5-10	3,2	4,4	5,7	2,4	3,1	4,2	--	6 / 6	19	21
	10-30	3,1	3,7	4,0	2,1	3,5	6,3	o	6 / 6	10	46
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3738	5510	7940	3569	4438	5905	-	6 / 6	27	20
	Oh	2025	2355	2627	2799	3881	5348	++	6 / 6	11	26
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	46,83	47,81	48,77	44,20	45,43	46,60	o	6 / 6	2	2
	Oh	25,39	31,43	34,08	33,40	36,58	40,70	+	6 / 6	10	7
	0-2	4,60	8,26	10,04	5,22	6,09	6,88	-	6 / 6	25	9
	2-5	2,54	3,86	4,82	3,44	3,75	4,44	o	6 / 6	21	10
	5-10	1,41	2,75	3,54	2,59	2,82	3,53	o	6 / 6	28	13
	10-30	0,68	1,40	1,82	1,53	1,77	2,11	+	6 / 6	30	13
N _i (%)	L/Of	1,78	1,83	1,86	1,68	1,79	1,89	o	6 / 6	2	4
	Oh	1,02	1,26	1,37	1,45	1,58	1,80	+	6 / 6	10	8
	0-2	0,29	0,41	0,49	0,29	0,31	0,33	-	6 / 6	18	4
	2-5	0,18	0,23	0,27	0,19	0,20	0,21	-	6 / 6	12	3
	5-10	0,14	0,19	0,22	0,16	0,16	0,17	-	6 / 6	16	3
	10-30	0,11	0,13	0,14	0,12	0,12	0,13	o	6 / 6	10	4
C/N-Verhältnis	L/Of	25	26	27	24	25	26	o	6 / 6	3	4
	Oh	23	25	27	23	23	24	o	6 / 6	5	2
	0-2	16	20	23	18	20	22	o	6 / 6	11	8
	2-5	14	17	19	17	19	23	+	6 / 6	10	11
	5-10	10	15	17	15	17	21	+	6 / 6	16	11
	10-30	6	11	13	13	14	17	++	6 / 6	25	11
Arsen (mg/kg)	L/Of	2,2	3,0	3,8	1,5	4,1	6,0	++	6 / 6	23	42
	Oh	12,3	14,4	16,5	10,0	12,7	14,0	-	6 / 6	12	13
	0-2	17,2	19,4	23,0	19,0	21,8	24,0	+	6 / 6	13	8
	2-5	10,6	12,9	14,9	11,0	13,6	15,7	o	6 / 6	15	13
	5-10	6,8	9,2	11,5	8,0	9,2	10,7	o	6 / 6	22	11
	10-30	4,7	6,7	8,7	7,0	8,1	9,0	+	6 / 6	25	10
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,52	0,68	0,84	0,44	0,59	0,71	-	6 / 6	18	19
	Oh	0,58	0,79	1,13	0,43	0,55	0,65	-	6 / 6	24	13
	0-2	0,13	0,15	0,19	0,07	0,07	0,08	--	6 / 6	14	7
	2-5	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,09	-	6 / 6	10	40
	5-10	0,05	0,06	0,10	0,03	0,05	0,15	-	6 / 6	33	94
	10-30	0,04	0,06	0,10	0,04	0,05	0,08	-	6 / 6	37	31

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	16,5	21,9	34,5	13,8	15,3	16,8	-	6 / 6	30	9
	Oh	18,5	29,0	48,3	32,6	36,1	41,4	+	6 / 6	36	9
	0-2	21,8	25,1	27,2	12,7	15,8	17,0	--	6 / 6	8	10
	2-5	19,5	21,7	23,4	14,0	16,7	17,8	-	6 / 6	8	8
	5-10	22,3	23,9	26,1	16,0	18,6	20,9	-	6 / 6	6	9
	10-30	20,2	24,5	31,2	17,9	19,8	21,4	-	6 / 6	20	7
Kupfer (mg/kg)	L/Of	26,9	30,7	38,3	19,8	22,5	25,0	-	6 / 6	13	8
	Oh	38,3	49,3	57,8	45,0	51,0	60,0	o	6 / 6	13	11
	0-2	14,7	19,6	22,2	14,0	14,9	15,8	-	6 / 6	14	4
	2-5	10,1	12,1	14,0	10,0	11,9	13,0	o	6 / 6	12	9
	5-10	9,7	13,0	16,2	11,0	13,0	15,3	o	6 / 6	17	12
	10-30	12,5	17,3	22,7	12,8	17,6	22,3	o	6 / 6	22	25
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,39	0,46	0,59	-	-	-	-	6 / 0	18	
	Oh	0,50	0,71	0,79	-	-	-	-	6 / 0	15	
	0-2	0,19	0,31	0,52	-	-	-	-	6 / 0	42	
	2-5	0,12	0,21	0,36	-	-	-	-	6 / 0	48	
	5-10	0,12	0,20	0,34	-	-	-	-	6 / 0	42	
	10-30	0,15	0,22	0,34	-	-	-	-	6 / 0	32	
Nickel (mg/kg)	L/Of	16,9	21,4	23,9	9,5	11,2	12,1	--	6 / 6	12	11
	Oh	18,9	24,4	30,6	19,0	19,9	21,0	-	6 / 6	15	4
	0-2	12,9	18,2	22,0	7,2	10,4	12,4	--	6 / 6	20	18
	2-5	13,6	18,7	26,1	8,4	11,3	12,9	--	6 / 6	31	14
	5-10	17,6	21,3	24,0	11,0	13,9	16,4	--	6 / 6	13	13
	10-30	20,3	28,8	35,5	17,0	22,9	29,0	-	6 / 6	19	22
Blei (mg/kg)	L/Of	287	336	393	104	151	180	--	6 / 6	11	19
	Oh	479	661	763	440	528	615	-	6 / 6	16	11
	0-2	234	284	324	134	164	199	--	6 / 6	12	14
	2-5	158	176	195	110	129	142	-	6 / 6	10	8
	5-10	137	147	158	95	109	124	-	6 / 6	5	11
	10-30	37	54	70	45	51	63	o	6 / 6	20	13
Zink (mg/kg)	L/Of	95	113	130	75	80	85	-	6 / 6	11	6
	Oh	93	120	152	119	126	140	o	6 / 6	16	8
	0-2	35	45	51	24	32	37	-	6 / 6	14	15
	2-5	27	32	36	23	30	33	o	6 / 6	11	12
	5-10	32	38	48	27	34	37	-	6 / 6	16	11
	10-30	42	53	66	37	47	55	-	6 / 6	17	17
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	353	503	973	710	747	817	++	6 / 6	46	5
	Oh	351	518	987	643	698	723	++	6 / 6	45	4
	0-2	310	357	398	499	585	641	++	6 / 6	10	9
	2-5	249	491	716	461	529	589	o	6 / 6	33	9
	5-10	256	387	566	444	496	547	+	6 / 6	30	8
	10-30	312	371	456	435	459	475	+	6 / 6	14	3
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1454	1697	2114	1266	1486	1850	-	6 / 6	13	18
	Oh	975	1291	1685	1164	1298	1506	o	6 / 6	19	9
	0-2	386	468	562	259	278	300	--	6 / 6	12	5
	2-5	245	274	307	195	211	234	-	6 / 6	8	7
	5-10	212	251	275	176	192	204	-	6 / 6	11	5
	10-30	183	218	251	158	172	182	-	6 / 6	13	5

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%$ = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.6 Glindfeld (GLI)

Auswahlkriterium: Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4718 Goddelsheim, Siegerland-Sauerland

Nutzung: Laubwald, Rotbuche und vereinzelt Eiche, Fichte und Lärche

Bodentyp: Typische Braunerde

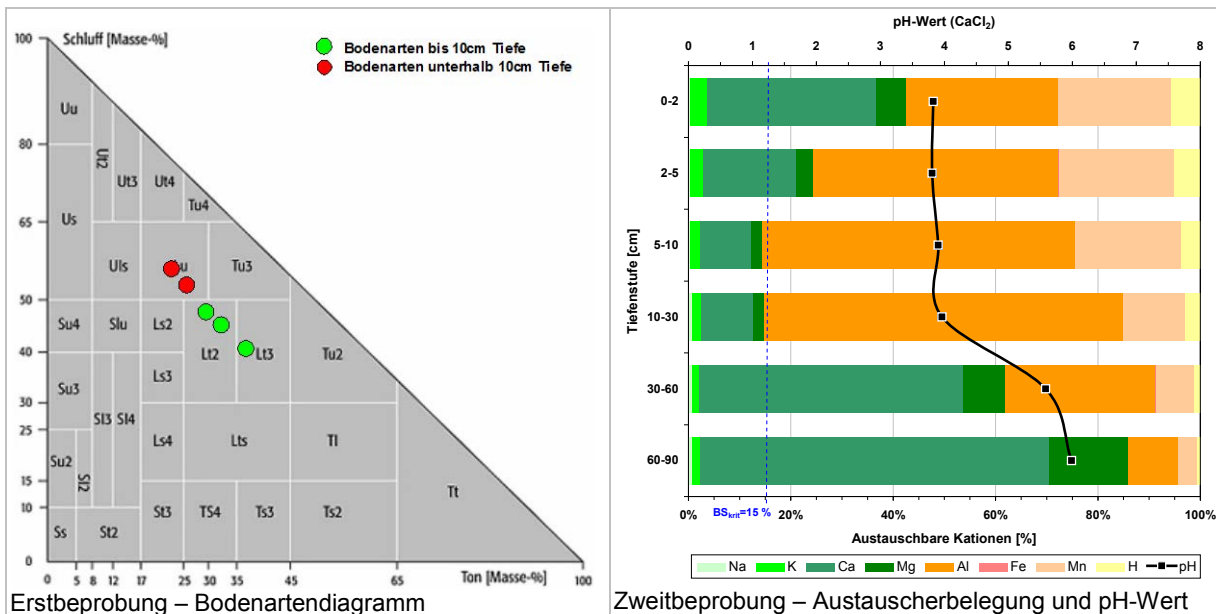
Bodeneigenschaft: flachgründig, kein Stau-/Grundwassereinfluss, mäßig basenhaltig

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: Fließerden (Pleistozän) - über Sand-, Schluff-, Tonsteinen (Kulm-Tonschiefer und Kulm-Grauwacke, teils Kulm-Lydit, Unterkarbon) und schwach karbonathaltigen Tonsteinen (Oberdevon)

Besonderheiten: Direkt benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Mäßige Schwermetallanreicherungen in den Tiefenstufen bis 5 cm Tiefe:
 Pb: ca. 180 bzw. 150 mg/kg (Spannweite: 169 bis 197 mg/kg)
 Zn: ca. 130 bzw. 140 mg/kg (Spannweite: 118 bis 170 mg/kg)

Zeitliche Entwicklung: Trend mit abnehmenden Gehalten vor allem in den obersten Tiefenstufen (Blei in 0-2cm Tiefe: Abnahme von ca. 230 auf 170 mg/kg). Zu den tieferen Tiefenstufen bis 10cm werden die Differenzen zwischen Erst- und Zweitbeprobung deutlich geringer, außerdem liegen die Schwermetallgehalte der Zweitbeprobung in den oberen Tiefenstufen trotz höherer C_{org}-Gehalte auf niedrigerem Niveau. pH-Wert-Situation und Basensättigung verbessert gegenüber Erstinventur.



Tab. A 6: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung GLI

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,5	4,1	4,4	3,9	4,3	4,7	o	6 / 6	7	7
	0-2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,8	4,2	+	6 / 6	3	7
	2-5	3,3	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	+	6 / 6	3	2
	5-10	3,5	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	+	6 / 6	1	1
	10-30	3,6	3,7	3,7	3,8	4,0	4,1	o	6 / 6	1	3
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	23,0	29,7	34,2	20,6	40,9	63,9	++	6 / 6	13	41
	2-5	14,6	17,4	19,1	10,9	23,7	37,2	++	6 / 6	11	45
	5-10	11,1	12,2	13,4	8,4	14,0	23,4	+	6 / 6	8	39
	10-30	8,2	10,9	14,1	7,5	14,8	35,2	++	6 / 6	20	69
Humusaufgabe (g/m ²)	L/Of	2229	2509	2825	2107	3453	5309	++	6 / 6	9	34
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	43,38	45,02	46,42	30,40	35,55	39,70	-	6 / 6	3	9
	0-2	7,35	10,88	12,29	9,62	13,80	19,10	+	6 / 6	17	27
	2-5	4,39	6,21	8,08	4,40	7,30	10,70	+	6 / 6	19	33
	5-10	2,93	3,78	4,37	2,76	3,92	5,23	o	6 / 6	15	23
	10-30	1,66	1,91	2,24	1,94	2,20	2,56	+	6 / 6	11	10
N _i (%)	L/Of	1,63	1,78	1,88	1,43	1,61	1,77	o	6 / 6	5	9
	0-2	0,42	0,67	0,76	0,54	0,85	1,21	+	6 / 6	19	34
	2-5	0,29	0,40	0,49	0,26	0,47	0,71	+	6 / 6	18	38
	5-10	0,22	0,26	0,31	0,18	0,26	0,37	o	6 / 6	14	29
	10-30	0,14	0,15	0,19	0,13	0,16	0,21	o	6 / 6	12	17
C/N-Verhältnis	L/Of	24	25	27	21	22	24	-	6 / 6	4	4
	0-2	16	16	18	15	17	18	o	6 / 6	4	8
	2-5	15	16	17	14	16	17	o	6 / 6	6	7
	5-10	14	15	15	13	15	17	o	6 / 6	4	9
	10-30	11	12	13	12	14	15	o	6 / 6	8	11
Arsen (mg/kg)	L/Of	-	-	-	4,4	5,8	8,0	-	0 / 6		24
	0-2	-	-	-	13,0	15,2	17,0	-	0 / 6		9
	2-5	-	-	-	11,0	15,5	19,0	-	0 / 6		19
	5-10	-	-	-	8,0	12,7	18,0	-	0 / 6		30
	10-30	-	-	-	6,0	8,7	12,0	-	0 / 6		30
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,51	0,56	0,61	0,24	0,33	0,47	--	6 / 6	7	29
	0-2	0,25	0,48	0,90	0,17	0,33	0,58	--	6 / 6	48	54
	2-5	0,32	0,43	0,54	0,16	0,32	0,49	-	6 / 6	18	45
	5-10	0,35	0,45	0,60	0,20	0,38	0,59	-	6 / 6	21	45
	10-30	0,48	0,63	0,83	0,27	0,47	0,75	-	6 / 6	24	41
Chrom (mg/kg)	L/Of	7,0	9,4	11,8	6,0	9,6	13,0	o	6 / 6	17	30
	0-2	22,9	30,0	33,0	21,5	25,1	28,0	-	6 / 6	12	11
	2-5	30,4	33,6	37,3	24,9	26,8	28,0	-	6 / 6	8	5
	5-10	18,2	30,9	37,4	23,7	27,2	30,0	-	6 / 6	22	9
	10-30	34,1	37,2	40,1	26,4	27,5	29,0	-	6 / 6	7	4
Kupfer (mg/kg)	L/Of	20,2	24,0	26,4	22,6	31,1	39,0	+	6 / 6	10	24
	0-2	54,0	65,1	73,8	55,0	64,7	82,0	o	6 / 6	13	16
	2-5	61,9	71,4	81,5	59,5	71,0	79,7	o	6 / 6	9	10
	5-10	31,1	73,3	92,4	72,0	81,0	92,0	+	6 / 6	29	11
	10-30	71,1	101,4	137,1	81,5	95,6	115,0	o	6 / 6	21	14

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	-	-	-	0,21	0,25	0,30		0 / 6		13
	0-2	-	-	-	0,33	0,36	0,39		0 / 6		7
	2-5	-	-	-	0,23	0,30	0,37		0 / 6		20
	5-10	-	-	-	0,05	0,17	0,27		0 / 6		56
	10-30	-	-	-	0,03	0,05	0,07		0 / 6		23
Nickel (mg/kg)	L/Of	10,0	14,8	17,7	12,8	15,7	18,1	o	6 / 6	22	14
	0-2	27,2	37,4	51,0	27,4	32,4	39,6	-	6 / 6	23	14
	2-5	32,6	43,9	55,8	29,8	37,5	46,0	-	6 / 6	21	16
	5-10	16,0	46,5	67,0	33,5	43,0	57,5	o	6 / 6	38	20
	10-30	39,7	57,9	88,7	38,8	49,0	66,3	-	6 / 6	31	21
Blei (mg/kg)	L/Of	64	74	85	46	68	102	o	6 / 6	12	33
	0-2	139	227	303	169	183	197	-	6 / 6	26	7
	2-5	114	167	196	107	153	191	o	6 / 6	17	21
	5-10	89	111	125	62	99	134	-	6 / 6	12	28
	10-30	48	73	96	48	61	78	-	6 / 6	21	19
Zink (mg/kg)	L/Of	63	72	82	61	72	81	o	6 / 6	11	10
	0-2	105	138	184	116	127	151	o	6 / 6	25	10
	2-5	109	149	223	117	139	170	o	6 / 6	29	14
	5-10	55	147	235	119	150	202	o	6 / 6	43	20
	10-30	109	161	263	119	148	182	o	6 / 6	35	15
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	410	595	1147	904	970	1039	++	6 / 6	47	5
	0-2	314	703	1409	944	1016	1099	++	6 / 6	61	6
	2-5	342	571	784	645	810	896	++	6 / 6	27	12
	5-10	236	319	519	498	614	775	++	6 / 6	32	16
	10-30	178	272	494	400	465	553	++	6 / 6	42	13
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	-	-	-	1260	1353	1440		0 / 6		5
	0-2	-	-	-	562	826	1130		0 / 6		28
	2-5	-	-	-	278	504	730		0 / 6		34
	5-10	-	-	-	239	320	413		0 / 6		23
	10-30	-	-	-	194	233	269		0 / 6		12

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.7 Haard (HAA)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung und Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4309 Recklinghausen, Ruhrgebiet

Nutzung: Laubwald, Rotbuche

Bodentyp: Braunerde-Podsol, pseudovergleyt

Bodeneigenschaften: sehr tiefgründig, sehr schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, sehr basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: Flugdecksande (Weichsel-Spätglazial bis Holozän über Fließerden (Pleistozän und Schmelzwasserablagerungen (Saale-Kaltzeit, Pleistozän

Besonderheiten: Direkt benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Keine nennenswerten Schwermetallanreicherungen, Arsengehalte leicht erhöht

0-2cm: ca. 15 mg/kg (Spannweite: 13,2 bis 19 mg/kg)

2-5cm: ca. 15 mg/kg (Spannweite: 11,8 bis 19,8 mg/kg)

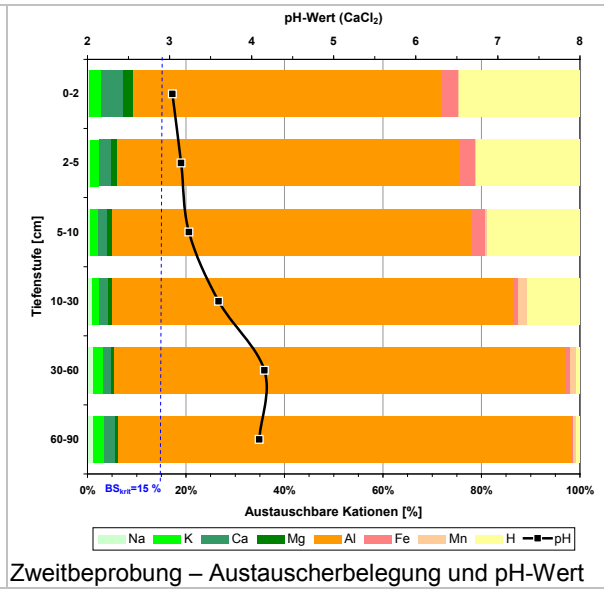
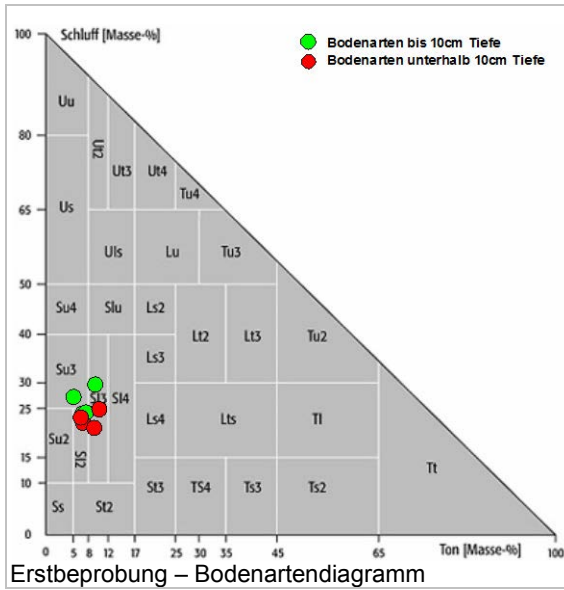
Zeitliche Entwicklung: Trend mit Zunahme der Schwermetallgehalte erkennbar. C_{org} -Gehalte steigen von Erst- zu Zweituntersuchung an. Veränderungen zurückzuführen auf Standortheterogenitäten zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Damit korrespondieren auch die Veränderungen der Schwermetallgehalte, namentlich von As, Cu, Ni und Pb. Basensättigung durchweg unterhalb 15 % im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität.



Blick auf die BDF (© LANUV)



Obere humose Bodenschichten (© LANUV)



Tab. A 7: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung HAA

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,2	3,3	3,4	3,3	3,4	3,6	o	6 / 6	2	2
	Oh	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	3,1	o	6 / 6	1	2
	0-2	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,1	o	6 / 6	2	2
	2-5	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	o	6 / 6	2	2
	5-10	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	o	6 / 6	1	2
	10-30	3,3	3,5	3,6	3,5	3,6	3,7	o	6 / 6	3	2
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	6,6	7,8	9,2	7,9	9,4	11,0	+	6 / 6	11	14
	2-5	5,1	5,8	6,7	4,8	6,2	7,1	o	6 / 6	11	14
	5-10	3,8	4,9	5,9	3,7	5,2	5,9	o	6 / 6	15	17
	10-30	3,1	4,2	5,4	3,7	5,0	6,9	+	6 / 6	20	24
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3945	5583	6665	2285	2984	3807	--	6 / 6	18	20
	Oh	4273	5157	5993	2320	4709	5977	o	6 / 6	14	27
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	38,37	40,85	43,10	41,80	42,80	44,40	o	6 / 6	4	2
	Oh	19,89	23,62	26,40	22,20	25,83	32,30	o	6 / 6	10	16
	0-2	8,32	12,05	15,88	10,50	13,00	17,10	o	6 / 6	24	19
	2-5	5,10	5,94	7,72	5,70	8,50	13,00	++	6 / 6	19	38
	5-10	2,26	3,05	5,70	2,32	4,79	8,70	++	6 / 6	43	57
	10-30	0,86	1,03	1,23	0,88	1,14	1,32	+	6 / 6	14	16
N _t (%)	L/Of	1,73	1,81	1,89	1,63	1,75	1,88	o	6 / 6	4	5
	Oh	0,90	1,04	1,12	0,97	1,14	1,50	o	6 / 6	8	18
	0-2	0,37	0,50	0,64	0,37	0,48	0,65	o	6 / 6	20	21
	2-5	0,22	0,26	0,31	0,18	0,29	0,47	+	6 / 6	15	41
	5-10	0,11	0,14	0,24	0,06	0,17	0,32	+	6 / 6	34	66
	10-30	0,05	0,06	0,06	0,03	0,04	0,05	--	6 / 6	5	25

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
C/N-Verhältnis	L/Of	21	23	24	24	24	26	o	6 / 6	5	3
	Oh	21	23	24	21	23	23	o	6 / 6	4	3
	0-2	22	24	25	26	27	28	+	6 / 6	5	4
	2-5	22	23	25	27	29	32	+	6 / 6	5	6
	5-10	19	21	24	25	31	39	++	6 / 6	9	15
	10-30	15	17	20	24	31	40	++	6 / 6	11	19
Arsen (mg/kg)	L/Of	2,0	2,7	3,6	1,2	2,8	5,5	o	6 / 6	19	54
	Oh	7,1	9,1	11,2	11,0	13,1	15,2	++	6 / 6	15	12
	0-2	9,3	10,2	11,7	13,2	15,5	19,0	++	6 / 6	9	16
	2-5	8,0	9,0	10,3	11,8	14,7	19,8	++	6 / 6	10	26
	5-10	5,8	7,2	8,4	8,0	10,7	15,8	++	6 / 6	13	30
	10-30	2,6	3,1	3,8	2,7	3,7	4,3	+	6 / 6	15	16
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,62	0,84	1,04	0,27	0,37	0,54	--	6 / 6	18	26
	Oh	0,51	0,62	0,82	0,24	0,37	0,47	--	6 / 6	19	24
	0-2	0,15	0,25	0,45	0,12	0,16	0,20	--	6 / 6	45	20
	2-5	0,07	0,12	0,14	0,06	0,11	0,18	o	6 / 6	23	44
	5-10	0,04	0,06	0,10	0,04	0,07	0,12	o	6 / 6	34	53
	10-30	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	-	6 / 6	12	19
Chrom (mg/kg)	L/Of	13,3	16,5	21,9	4,3	6,2	8,3	--	6 / 6	20	21
	Oh	20,8	28,9	41,4	17,2	22,2	25,0	-	6 / 6	24	13
	0-2	9,8	13,9	19,9	13,5	15,4	18,8	+	6 / 6	27	12
	2-5	6,4	12,4	20,8	10,1	11,7	15,0	o	6 / 6	38	17
	5-10	7,2	11,6	20,0	8,0	9,0	11,0	-	6 / 6	41	12
	10-30	6,2	9,3	13,8	7,7	8,4	9,5	-	6 / 6	29	8
Kupfer (mg/kg)	L/Of	31,7	33,5	38,0	15,6	18,5	20,2	--	6 / 6	7	9
	Oh	48,9	54,8	67,1	31,7	43,5	56,7	-	6 / 6	12	20
	0-2	22,0	31,5	47,2	22,8	32,6	41,8	o	6 / 6	31	22
	2-5	12,1	15,8	21,4	14,7	21,9	35,0	++	6 / 6	25	40
	5-10	4,7	7,2	14,3	5,4	11,6	22,1	++	6 / 6	50	57
	10-30	1,8	2,3	3,2	2,5	3,1	3,7	++	6 / 6	22	16
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,33	0,46	0,64	-	-	-	-	6 / 0	26	
	Oh	0,43	0,76	1,08	-	-	-	-	6 / 0	29	
	0-2	0,40	0,57	0,81	-	-	-	-	6 / 0	29	
	2-5	0,20	0,29	0,36	-	-	-	-	6 / 0	21	
	5-10	0,10	0,15	0,26	-	-	-	-	6 / 0	39	
	10-30	0,06	0,11	0,20	-	-	-	-	6 / 0	56	
Nickel (mg/kg)	L/Of	6,7	10,2	16,0	6,3	7,2	8,1	-	6 / 6	36	9
	Oh	11,8	15,7	19,6	11,5	15,3	18,0	o	6 / 6	18	16
	0-2	2,2	6,2	13,1	7,5	9,8	12,9	++	6 / 6	67	20
	2-5	1,1	4,5	9,9	4,8	6,7	10,5	++	6 / 6	81	36
	5-10	0,9	3,1	6,8	2,7	4,1	6,7	++	6 / 6	84	40
	10-30	0,2	1,5	3,6	2,3	2,6	2,8	++	6 / 6	84	8
Blei (mg/kg)	L/Of	173	192	235	38	59	74	--	6 / 6	12	23
	Oh	301	357	402	206	278	345	-	6 / 6	9	18
	0-2	116	181	268	138	189	254	o	6 / 6	32	26
	2-5	59	90	129	97	142	235	++	6 / 6	28	41
	5-10	20	44	89	44	85	159	++	6 / 6	54	55
	10-30	3	8	11	15	19	22	++	4 / 6	43	17
Zink (mg/kg)	L/Of	108	161	336	75	82	115	--	6 / 6	54	19
	Oh	119	148	197	88	116	131	-	6 / 6	19	14
	0-2	55	77	130	54	72	98	o	6 / 6	36	21
	2-5	29	46	77	33	48	75	o	6 / 6	37	37
	5-10	14	28	59	17	29	50	o	6 / 6	60	47
	10-30	10	16	32	11	13	20	-	6 / 6	47	26

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	407	509	661	645	673	716	++	6 / 6	18	4
	Oh	391	677	1550	535	584	662	-	6 / 6	64	10
	0-2	183	431	1096	356	377	404	-	6 / 6	79	5
	2-5	156	204	259	226	275	338	++	6 / 6	18	15
	5-10	102	158	218	161	186	235	+	6 / 6	27	14
	10-30	75	94	116	107	118	125	+	6 / 6	14	6
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	-	-	-	1290	1356	1406		0 / 6		3
	Oh	-	-	-	1039	1221	1587		0 / 6		17
	0-2	-	-	-	494	623	814		0 / 6		20
	2-5	-	-	-	309	436	649		0 / 6		35
	5-10	-	-	-	142	274	438		0 / 6		44
	10-30	-	-	-	70	83	94		0 / 6		12

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.8 Schwaney (SCH)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4219 Altenbeken, Ostwestfalen

Nutzung: Laubwald, Rotbuche, eingestreut Eiche, Bergahorn, Esche

Bodentyp: Typische Braunerde

Bodeneigenschaft: mittlere Gründigkeit, kein Stau-/Grundwassereinfluss, basenreich
ten:

Ausgangssubstrate der Bodenbildung - Fließerden (Hauptlage, Weichsel-Kaltzeit, Spätglazial)
- über Fließerde (Basislage, Weichsel-Kaltzeit, Frühglazial)
- über Mergelkalkstein ("Trochiten-/ Ceratithenschichten", oberer Muschelkalk), teils über Tonmergelstein (mittlerer Muschelkalk), über Mergelkalkstein ("Schaumkalkbank", unterer Muschelkalk)

Besonderheiten: Direkt benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Leicht erhöhte Gehalte von Cadmium, Blei und Zink bis 30cm Tiefe:
Cd (0-2 cm): ca. 0,6 mg/kg (Spannweite: 0,3 bis 1,2 mg/kg)
Pb (0-2 cm): ca. 190 mg/kg (Spannweite: 144 bis 251 mg/kg)
Zn (0-2 cm): ca. 220 mg/kg (Spannweite: 172 bis 281 mg/kg)

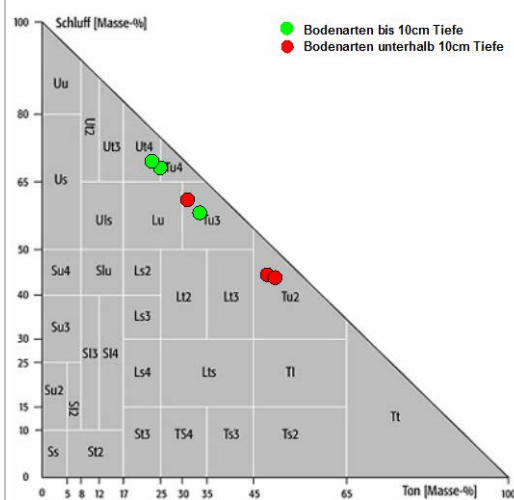
Zeitliche Entwicklung: Kein signifikanter Trend erkennbar, jedoch tendenziell abnehmend. Leicht erhöhte Schwermetallgehalte geogen geprägt durch karbonatische Ausgangsgesteine. Basensättigung sehr gut.



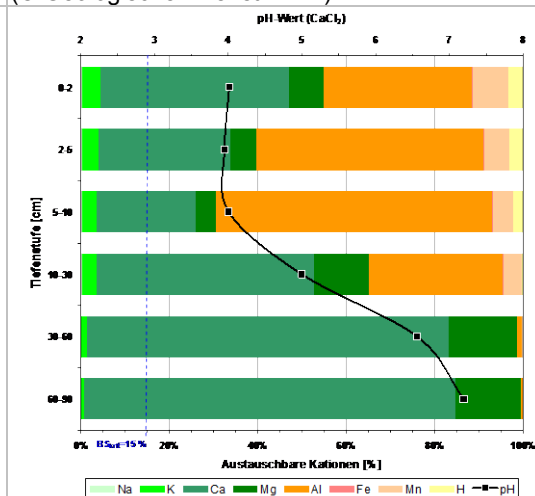
Blick auf die BDF © LANUV



Bodenprofil einer basenreichen Braunerde © Geologischer Dienst NRW



Erstbeobachtung – Bodenartendiagramm



Zweitbeobachtung – Austauscherbelegung und pH-Wert

Tab. A 8: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung SCH

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,9	4,1	4,3	3,9	4,5	4,8	+	6 / 6	3	8
	Oh	3,1	3,2	3,4	-	-	-		5 /	4	
	0-2	3,3	3,5	3,8	3,6	3,9	4,3	+	6 / 6	6	7
	2-5	3,4	3,8	4,0	3,5	3,9	4,3	o	6 / 6	7	7
	5-10	3,5	3,8	4,2	3,6	3,9	4,4	o	6 / 6	7	7
	10-30	4,0	4,6	5,8	4,1	4,7	5,5	o	6 / 6	16	11
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 /		
	0-2	23,0	41,1	68,8	41,1	54,4	80,2	++	6 / 6	44	28
	2-5	16,4	38,0	68,6	23,4	38,6	75,5	o	6 / 6	54	49
	5-10	14,5	36,6	72,5	16,5	28,4	76,8	-	6 / 6	62	84
	10-30	46,2	72,6	97,8	35,5	64,4	89,4	-	6 / 6	28	33
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	1920	2399	2853	2330	4069	6493	++	6 / 6	15	43
	Oh	2225	2769	3600	-	-	-		5 /	18	
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	32,75	36,37	39,34	25,10	28,15	31,80	-	6 / 6	7	8
	Oh	12,71	15,58	17,70	-	-	-		5 /	13	
	0-2	4,47	5,33	6,22	3,41	6,31	9,40	+	6 / 6	11	32
	2-5	2,80	3,00	3,22	2,15	3,69	5,38	+	6 / 6	6	30
	5-10	2,23	2,35	2,54	1,60	2,13	2,78	o	6 / 6	6	20
	10-30	0,95	1,35	1,53	1,54	1,74	2,12	+	6 / 6	17	12
N _i (%)	L/Of	1,48	1,53	1,57	0,93	1,02	1,12	--	6 / 6	2	6
	Oh	0,78	0,89	0,99	-	-	-		5 /	9	
	0-2	0,30	0,35	0,42	0,21	0,38	0,54	o	6 / 6	11	31
	2-5	0,21	0,22	0,23	0,15	0,23	0,31	o	6 / 6	4	26
	5-10	0,16	0,18	0,19	0,10	0,13	0,17	-	6 / 6	6	23
	10-30	0,09	0,12	0,12	0,08	0,10	0,13	-	6 / 6	10	16
C/N-Verhältnis	L/Of	22	24	26	24	28	31	+	6 / 6	7	10
	Oh	16	17	18	-	-	-		5 /	4	
	0-2	15	15	16	16	17	18	o	6 / 6	4	5
	2-5	13	14	15	14	16	18	+	6 / 6	5	10
	5-10	12	13	14	14	16	21	++	6 / 6	5	15
	10-30	10	12	13	14	17	19	++	6 / 6	8	11
Arsen (mg/kg)	L/Of	-	-	-	7,7	10,9	15,3		0 / 6		24
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 /		
	0-2	-	-	-	15,1	18,0	23,7		0 / 6		17
	2-5	-	-	-	13,6	17,8	23,9		0 / 6		26
	5-10	-	-	-	11,1	13,9	18,1		0 / 6		19
	10-30	-	-	-	12,1	13,2	14,3		0 / 6		7
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,79	0,90	1,03	0,48	0,63	0,81	-	6 / 6	11	22
	Oh	0,55	0,61	0,66	-	-	-		5 /	9	
	0-2	0,45	0,69	1,23	0,34	0,58	1,18	-	6 / 6	43	56
	2-5	0,47	0,71	1,32	0,25	0,50	1,19	-	6 / 6	45	70
	5-10	0,51	0,74	1,27	0,22	0,49	1,30	--	6 / 6	39	84
	10-30	0,91	1,19	1,50	0,36	0,70	1,09	--	6 / 6	16	41

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	15,6	19,2	22,9	10,7	15,1	18,8	-	6 / 6	14	20
	Oh	32,6	37,1	42,4	-	-	-	-	5 /	13	
	0-2	35,6	42,6	55,0	26,0	31,9	35,9	-	6 / 6	16	11
	2-5	40,5	45,4	54,3	26,1	33,0	37,7	-	6 / 6	11	13
	5-10	37,8	43,2	54,1	26,5	33,1	37,5	-	6 / 6	14	12
	10-30	41,6	49,4	62,1	31,7	36,4	44,0	-	6 / 6	15	12
Kupfer (mg/kg)	L/Of	19,5	21,5	23,8	15,2	19,8	22,3	o	6 / 6	8	15
	Oh	29,6	31,4	33,1	-	-	-	-	5 /	5	
	0-2	23,0	26,5	32,8	21,6	27,9	45,8	o	6 / 6	14	33
	2-5	22,0	24,0	26,2	16,6	22,1	25,6	o	6 / 6	7	15
	5-10	19,8	22,2	24,6	16,3	20,7	25,4	o	6 / 6	8	14
	10-30	22,5	25,0	29,1	19,9	22,1	24,7	-	6 / 6	10	9
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 /		
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
Nickel (mg/kg)	L/Of	10,7	20,2	28,0	13,3	16,8	19,9	-	6 / 6	30	14
	Oh	27,7	31,6	35,5	-	-	-	-	5 /	10	
	0-2	30,7	37,2	42,9	23,6	28,5	33,4	-	6 / 6	12	14
	2-5	34,8	40,1	45,9	24,2	28,9	34,6	-	6 / 6	11	13
	5-10	37,7	39,2	39,9	22,0	28,7	34,8	-	6 / 6	2	15
	10-30	45,8	52,4	61,2	28,0	34,7	38,3	--	6 / 6	11	12
Blei (mg/kg)	L/Of	117	166	218	65	109	169	--	6 / 6	27	34
	Oh	311	364	404	-	-	-	-	5 /	9	
	0-2	168	249	362	144	192	251	-	6 / 6	29	22
	2-5	146	224	299	143	187	236	-	6 / 6	28	24
	5-10	136	207	276	120	160	217	-	6 / 6	27	23
	10-30	119	168	227	115	146	180	-	6 / 6	28	19
Zink (mg/kg)	L/Of	113	154	205	119	148	201	o	6 / 6	24	23
	Oh	197	237	270	-	-	-	-	5 /	13	
	0-2	196	274	404	172	220	281	-	6 / 6	33	19
	2-5	196	278	391	175	225	284	-	6 / 6	31	19
	5-10	194	275	377	175	225	284	-	6 / 6	31	19
	10-30	200	321	523	191	243	294	-	6 / 6	42	18
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	397	769	970	694	752	814	o	6 / 6	26	6
	Oh	534	739	850	-	-	-	-	5 /	16	
	0-2	477	590	837	515	630	782	o	6 / 6	23	16
	2-5	413	523	651	411	536	662	o	6 / 6	19	20
	5-10	358	442	563	329	428	515	o	6 / 6	17	15
	10-30	334	421	560	384	420	438	o	6 / 6	19	5
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	-	-	-	785	853	949	-	0 / 6		8
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 /		
	0-2	-	-	-	285	424	578	-	0 / 6		25
	2-5	-	-	-	224	300	400	-	0 / 6		23
	5-10	-	-	-	172	206	258	-	0 / 6		14
	10-30	-	-	-	165	185	206	-	0 / 6		9

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.9 Duisburg Wald (DUI Wa)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4506 Duisburg, Niederrheinische Bucht

Nutzung: Laubwald, Rotbuche

Bodentyp: Podsol-Braunerde, pseudovergleyt

Bodeneigenschaften: sehr tiefgründig, sehr schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: - Fließerden (Pleistozän)
- über Terrassenablagerungen (Hauptterrassen, Altpleistozän)
- über präquartärem Sand (Oligozän, Tertiär)

Besonderheiten: Allgemeine Bestandsdüngung; BDF direkt benachbart zu einer Bestands-Biomonitoring-Fläche

Belastungssituation: Schwermetallanreicherungen, insbesondere (0-2 cm)
As: ca. 45 mg/kg (Spannweite: 40 bis 52 mg/kg)
Cu: ca. 105 mg/kg (Spannweite: 91,7 bis 118 mg/kg)
Pb: ca. 460 mg/kg (Spannweite: 354 bis 525 mg/kg)

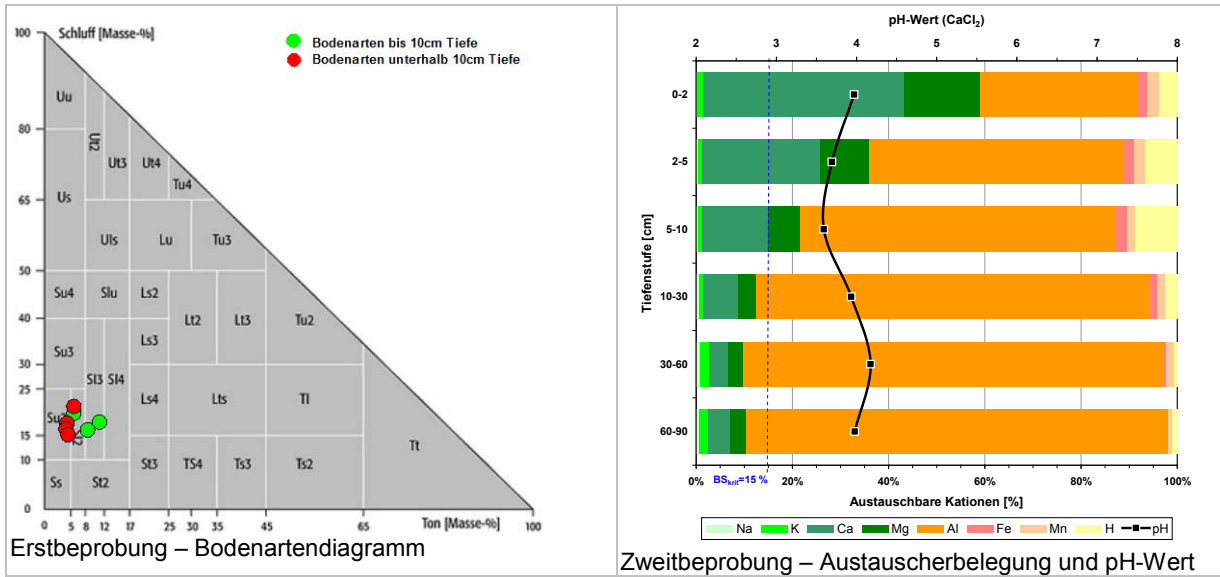
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. C_{org} -Gehalte nahezu unverändert zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Veränderungen wahrscheinlich zurückzuführen auf Standortheterogenitäten zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Verbesserte Basensättigung in den oberen Tiefenstufen bis 10 cm Tiefe durch Bestandsdüngung.



Buchenbestand der BDF (© Geologischer Dienst NRW)



Bodenprofil pseudovergleyte Podsol-Braunerde (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 9: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung DUI Wa

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	4,4	4,5	4,6	4,5	4,7	4,9	o	6 / 6	2	3
	Oh	3,6	3,9	4,3	4,0	4,5	5,0	++	6 / 6	7	9
	0-2	3,4	3,6	3,7	3,5	3,9	4,2	+	6 / 6	4	7
	2-5	3,3	3,5	3,6	3,4	3,7	3,8	o	6 / 6	4	5
	5-10	3,3	3,5	3,7	3,4	3,6	3,7	o	6 / 6	4	3
	10-30	3,6	3,8	3,9	3,8	3,9	4,0	o	6 / 6	3	3
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	34,5	38,6	43,5	32,0	57,7	78,0	++	6 / 6	9	32
	2-5	21,8	24,4	32,0	21,9	35,0	55,1	++	6 / 6	16	38
	5-10	16,1	20,3	26,9	16,1	21,5	31,2	o	6 / 6	18	30
	10-30	14,9	16,6	19,0	10,7	12,8	19,1	-	6 / 6	8	26
Humusaufgabe (g/m ²)	L/Of	10245	13050	15278	1449	2033	2608	--	6 / 6	15	23
	Oh	14666	17609	19367	5334	8007	11779	--	6 / 6	11	32
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	38,10	40,75	44,20	34,30	36,47	39,70	-	6 / 6	6	5
	Oh	16,60	20,48	26,60	16,60	18,88	20,50	o	6 / 6	18	8
	0-2	7,20	9,93	12,30	9,66	10,88	12,60	o	6 / 6	19	11
	2-5	4,10	5,77	6,90	5,57	6,65	8,58	+	6 / 6	19	16
	5-10	2,50	3,22	3,80	2,60	3,38	4,02	o	6 / 6	15	16
	10-30	1,20	1,53	1,90	1,07	1,36	1,75	-	6 / 6	18	18
N _t (%)	L/Of	1,60	1,68	1,80	1,29	1,44	1,53	-	6 / 6	6	7
	Oh	0,80	0,98	1,20	0,76	0,86	0,95	-	6 / 6	16	9
	0-2	0,30	0,42	0,50	0,32	0,42	0,51	o	6 / 6	18	16
	2-5	0,20	0,25	0,30	0,18	0,23	0,33	o	6 / 6	22	24
	5-10	0,10	0,12	0,20	0,09	0,12	0,17	o	6 / 6	35	24
	10-30	0,00	0,08	0,10	0,03	0,04	0,05	--	6 / 6	49	18

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
C/N-Verhältnis	L/Of	23	24	27	24	25	27	o	6 / 6	5	5
	Oh	20	21	22	21	22	24	o	6 / 6	4	5
	0-2	22	24	25	25	26	31	+	6 / 6	5	10
	2-5	21	23	29	26	30	32	+	6 / 6	12	7
	5-10	19	29	36	15	29	34	o	6 / 6	22	24
	10-30	12	16	19	31	35	38	++	5 / 6	16	7
Arsen (mg/kg)	L/Of	11,2	13,0	14,4	15,8	21,4	25,2	++	4 / 6	11	18
	Oh	51,5	56,6	67,9	39,0	47,5	52,9	-	4 / 6	14	11
	0-2	43,9	50,6	57,9	39,6	45,1	52,0	-	4 / 6	12	11
	2-5	21,8	27,6	40,6	22,9	30,5	40,4	+	4 / 6	32	23
	5-10	12,4	15,5	17,7	11,2	15,4	19,0	o	4 / 6	16	18
	10-30	3,9	4,5	5,3	2,5	3,5	4,4	-	4 / 6	13	19
Cadmium (mg/kg)	L/Of	1,32	1,78	2,08	1,18	1,40	1,90	-	6 / 6	14	18
	Oh	1,23	1,49	1,84	1,28	1,45	1,71	o	6 / 6	15	10
	0-2	0,42	0,52	0,60	0,47	0,71	0,82	++	6 / 6	14	18
	2-5	0,24	0,27	0,32	0,20	0,36	0,49	++	6 / 6	12	32
	5-10	0,05	0,22	0,53	0,06	0,16	0,21	-	6 / 6	78	40
	10-30	0,04	0,15	0,24	0,05	0,09	0,16	--	6 / 6	52	42
Chrom (mg/kg)	L/Of	21,0	29,1	33,4	23,9	34,9	60,9	+	6 / 6	16	41
	Oh	51,3	57,0	70,9	42,8	56,2	71,7	o	6 / 6	13	17
	0-2	23,4	27,3	31,3	31,6	35,5	39,5	++	6 / 6	11	8
	2-5	11,3	14,1	17,0	14,0	19,1	24,6	++	6 / 6	14	18
	5-10	6,3	9,2	11,4	9,7	13,1	20,7	++	6 / 6	22	32
	10-30	5,7	8,7	10,5	6,9	10,5	16,4	+	6 / 6	22	34
Kupfer (mg/kg)	L/Of	38,4	60,1	71,8	58,0	71,8	93,0	+	6 / 6	20	17
	Oh	118,8	162,8	222,8	110,0	140,5	184,0	-	6 / 6	23	18
	0-2	82,8	100,8	114,0	91,7	105,6	118,0	o	6 / 6	14	10
	2-5	42,8	52,8	61,7	45,1	63,9	82,0	+	6 / 6	15	23
	5-10	13,7	23,3	29,6	16,5	27,5	37,3	+	6 / 6	28	27
	10-30	5,0	7,1	8,3	4,5	6,5	7,8	o	6 / 6	18	17
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,43	0,57	0,70	-	-	-	-	4 / 0	27	
	Oh	0,75	0,91	1,18	-	-	-	-	4 / 0	21	
	0-2	0,61	0,78	1,09	-	-	-	-	4 / 0	28	
	2-5	0,42	0,51	0,57	-	-	-	-	4 / 0	14	
	5-10	0,19	0,31	0,52	-	-	-	-	4 / 0	47	
	10-30	0,09	0,17	0,34	-	-	-	-	4 / 0	69	
Nickel (mg/kg)	L/Of	11,0	17,6	21,9	14,9	20,6	33,3	+	6 / 6	23	35
	Oh	29,4	34,1	44,5	23,4	30,0	37,3	-	6 / 6	16	16
	0-2	14,8	31,3	100,7	16,8	18,8	20,2	--	6 / 6	109	8
	2-5	7,0	9,2	11,3	6,9	10,0	13,8	o	6 / 6	17	24
	5-10	2,7	4,5	6,6	4,4	5,9	8,6	+	6 / 6	30	25
	10-30	2,1	4,1	7,1	4,0	5,1	7,4	+	6 / 6	43	26
Blei (mg/kg)	L/Of	298	432	528	331	391	508	o	6 / 6	18	16
	Oh	768	992	1253	592	687	756	--	6 / 6	18	8
	0-2	368	491	573	354	456	525	o	6 / 6	15	13
	2-5	200	272	332	195	274	371	o	6 / 6	19	24
	5-10	80	132	166	81	127	168	o	6 / 6	24	26
	10-30	22	32	46	20	28	35	-	6 / 6	30	20
Zink (mg/kg)	L/Of	327	418	491	306	340	410	-	6 / 6	13	11
	Oh	404	455	585	337	375	403	-	6 / 6	16	6
	0-2	163	210	246	163	219	269	o	6 / 6	14	16
	2-5	83	100	117	75	118	169	+	6 / 6	13	33
	5-10	24	53	86	23	48	69	-	6 / 6	40	36
	10-30	22	29	38	18	25	27	-	6 / 6	22	14

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	698	780	872	616	710	800	o	6 / 6	9	9
	Oh	590	726	914	587	672	719	o	6 / 6	17	7
	0-2	406	468	546	363	446	510	o	6 / 6	14	13
	2-5	196	233	267	189	259	365	+	6 / 6	13	27
	5-10	77	116	143	93	128	157	+	6 / 6	23	21
	10-30	50	67	77	68	72	78	o	6 / 6	17	5
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1490	1591	1690	911	1089	1331	--	6 / 6	4	14
	Oh	989	1195	1485	759	858	905	-	6 / 6	16	7
	0-2	529	599	698	461	530	620	-	6 / 6	11	12
	2-5	259	328	368	266	326	435	o	6 / 6	14	19
	5-10	135	187	234	123	174	210	o	6 / 6	18	19
	10-30	90	114	131	76	90	103	-	6 / 6	12	12

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.10 Essen Süd (ESS Sü)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4508 Essen, Baldeneysee Ost

Nutzung: Laub-Mischwald, Rotbuche, untergeordnet Eiche, Fichte, Lärche, Bergahorn

Bodentyp: Pseudogley-Braunerde, stellenweise podsoliert

Bodeneigenschaften: sehr tiefgründig, schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: - Löss, Fließerden (Pleistozän), Hochflächenlehm
- über Sand-, Schluff- und Tonsteinen des Oberkarbon

Besonderheiten: Aufgrund industrieller Staubablagerungen (Flugaschen, Kohlenstaub) sehr hohe C-Gehalte in den mineralischen Bodenhorizonten bis 10cm Tiefe

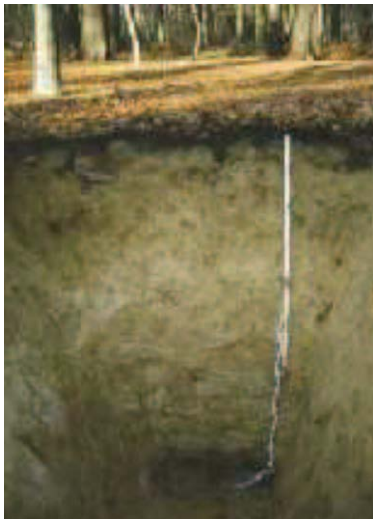
Belastungssituation: Schwermetallanreicherungen in den oberen Tiefenstufen; , Gehalte in 0-2 cm Tiefe:

As: ca. 38 mg/kg (Spannweite: 25 bis 65 mg/kg)

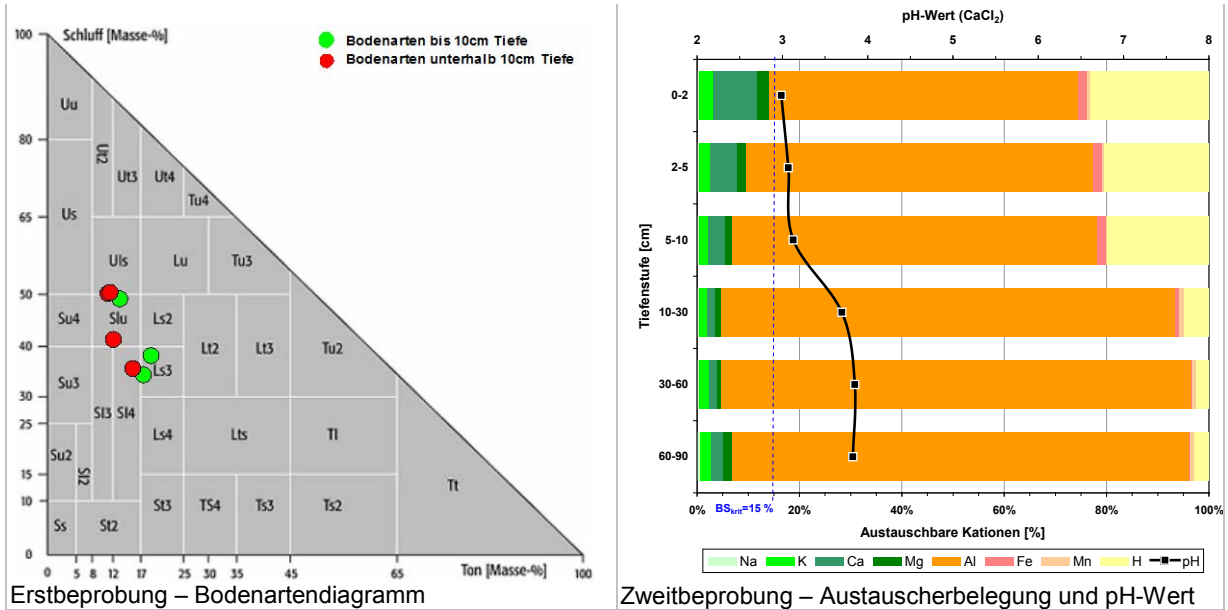
Cu: ca. 84 mg/kg (Spannweite: 66 bis 105 mg/kg)

Pb: ca. 390 mg/kg (Spannweite: 319 bis 518 mg/kg)

Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. pH- Wert-Situation und Basensättigungsgrade sehr schlecht. Basensättigung sehr gering ($BS < BS_{krit}$ 15%; im Bereich erhöhter Aluminiumtoxizität).



Basenarme Pseudogley-Braunerde (© GDNRW)



Tab. A 10: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung ESS Sü

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,1	3,2	3,3	3,2	3,3	3,5	o	6 / 6	2	3
	Oh	2,9	2,9	3,0	2,9	2,9	3,0	o	6 / 6	2	2
	0-2	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0	3,1	o	6 / 6	2	1
	2-5	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	3,1	o	6 / 6	2	2
	5-10	3,1	3,1	3,2	3,0	3,1	3,2	o	6 / 6	2	2
	10-30	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7	3,8	o	6 / 6	2	2
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	13,5	15,5	18,6	10,8	14,1	17,4	o	6 / 6	14	19
	2-5	8,7	10,3	12,1	9,0	9,6	11,2	o	6 / 6	14	8
	5-10	6,5	7,3	8,6	3,1	6,4	7,4	-	6 / 6	11	26
	10-30	4,6	5,3	6,3	3,5	4,8	5,5	-	6 / 6	13	16
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	5187	6881	9122	5494	6647	8425	o	6 / 6	20	15
	Oh	377	771	1948	2198	3910	6112	++	6 / 6	63	39
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	43,40	45,20	46,90	43,10	44,57	45,40	o	6 / 6	3	2
	Oh	32,70	35,35	38,90	32,60	35,85	41,00	o	6 / 6	7	8
	0-2	28,00	31,60	38,10	25,10	33,12	40,70	o	6 / 6	12	15
	2-5	21,00	25,97	32,30	18,70	27,92	39,80	o	6 / 6	19	25
	5-10	10,00	12,43	14,40	12,00	18,58	24,50	++	6 / 6	13	24
	10-30	1,20	1,50	1,90	1,42	1,95	2,53	+	6 / 6	17	23
N _i (%)	L/Of	1,80	1,93	2,00	1,75	1,82	1,96	o	6 / 6	4	4
	Oh	1,20	1,33	1,50	1,12	1,37	1,64	o	6 / 6	8	15
	0-2	0,80	0,92	1,10	0,66	0,90	1,14	o	6 / 6	13	18
	2-5	0,60	0,73	1,00	0,47	0,69	0,99	o	6 / 6	24	25
	5-10	0,30	0,35	0,40	0,29	0,44	0,56	+	6 / 6	16	23
	10-30	0,10	0,10	0,10	0,04	0,05	0,06	--	6 / 6	0	19

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
C/N-Verhältnis	L/Of	22	23	26	23	24	26	o	6 / 6	5	4
	Oh	25	27	28	22	27	30	o	6 / 6	4	11
	0-2	32	35	35	36	37	38	o	6 / 6	4	3
	2-5	32	36	39	39	40	42	+	6 / 6	7	3
	5-10	31	36	40	38	42	45	+	6 / 6	10	5
	10-30	12	15	19	31	41	62	++	6 / 6	17	26
Arsen (mg/kg)	L/Of	2,4	5,0	8,5	3,4	5,5	10,8	+	4 / 6	54	50
	Oh	29,0	32,1	36,1	13,9	23,9	42,1	-	4 / 6	9	41
	0-2	39,5	46,7	54,2	25,2	37,8	64,8	-	4 / 6	16	37
	2-5	45,8	49,0	54,1	32,8	41,0	68,0	-	4 / 6	7	33
	5-10	27,6	28,7	30,3	23,2	31,7	52,1	+	4 / 6	5	34
	10-30	3,5	4,4	5,4	3,4	5,2	7,7	+	4 / 6	19	30
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,92	1,09	1,27	0,63	0,72	0,79	--	6 / 6	12	8
	Oh	0,71	0,81	1,05	0,55	0,62	0,70	-	6 / 6	16	9
	0-2	0,42	0,48	0,60	0,32	0,45	0,56	o	6 / 6	13	18
	2-5	0,31	0,38	0,54	0,22	0,35	0,54	o	6 / 6	21	33
	5-10	0,16	0,21	0,32	0,16	0,24	0,39	+	6 / 6	27	34
	10-30	0,09	0,10	0,13	0,07	0,11	0,25	o	6 / 6	15	61
Chrom (mg/kg)	L/Of	22,0	25,7	32,1	8,6	13,1	17,3	--	6 / 6	15	23
	Oh	33,7	45,9	74,3	36,9	39,6	41,4	-	6 / 6	32	5
	0-2	25,8	32,0	45,9	29,6	32,8	38,6	o	6 / 6	22	12
	2-5	19,9	21,9	26,4	22,2	25,0	30,5	+	6 / 6	11	13
	5-10	11,6	16,6	24,3	17,2	19,5	26,2	+	6 / 6	30	18
	10-30	15,5	17,9	22,5	15,5	17,2	19,1	o	6 / 6	14	9
Kupfer (mg/kg)	L/Of	41,8	45,9	49,7	23,3	28,5	35,4	--	6 / 6	6	14
	Oh	72,7	93,1	111,5	63,4	79,2	90,4	-	6 / 6	17	12
	0-2	74,4	83,3	96,9	66,1	84,2	105,0	o	6 / 6	11	18
	2-5	52,5	64,1	78,2	47,6	72,0	104,0	+	6 / 6	17	31
	5-10	18,0	24,7	27,8	27,5	43,3	76,8	++	6 / 6	14	41
	10-30	5,3	5,9	7,4	4,4	6,6	10,4	+	6 / 6	13	34
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,42	0,50	0,57	-	-	-	-	4 / 0	13	
	Oh	0,63	0,75	0,87	-	-	-	-	4 / 0	13	
	0-2	0,18	0,62	0,90	-	-	-	-	4 / 0	50	
	2-5	0,25	0,60	0,83	-	-	-	-	4 / 0	42	
	5-10	0,38	0,43	0,50	-	-	-	-	4 / 0	13	
	10-30	0,06	0,08	0,09	-	-	-	-	4 / 0	16	
Nickel (mg/kg)	L/Of	17,9	23,1	30,7	8,7	11,3	14,3	--	6 / 6	21	18
	Oh	25,9	33,6	50,5	23,3	25,6	28,6	-	6 / 6	26	8
	0-2	22,1	25,3	31,9	18,1	22,9	28,1	o	6 / 6	15	17
	2-5	15,9	17,9	19,5	12,8	18,1	24,4	o	6 / 6	8	24
	5-10	7,9	10,1	12,0	9,4	12,6	19,7	+	6 / 6	18	29
	10-30	10,1	11,5	13,1	9,0	11,7	15,1	o	6 / 6	12	20
Blei (mg/kg)	L/Of	238	306	356	76	121	156	--	6 / 6	16	22
	Oh	527	652	802	425	461	493	-	6 / 6	19	6
	0-2	387	454	564	319	392	518	-	6 / 6	16	18
	2-5	280	365	511	214	320	453	-	6 / 6	23	27
	5-10	111	166	234	126	200	305	+	6 / 6	24	31
	10-30	16	19	23	16	24	33	+	6 / 6	15	24
Zink (mg/kg)	L/Of	188	202	225	115	125	134	--	6 / 6	6	5
	Oh	211	265	348	184	196	212	-	6 / 6	21	5
	0-2	152	172	186	122	164	199	o	6 / 6	8	18
	2-5	104	118	137	77	120	178	o	6 / 6	11	29
	5-10	50	59	67	52	78	135	++	6 / 6	10	38
	10-30	49	59	65	44	56	71	o	6 / 6	11	16

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	533	730	892	604	655	713	-	6 / 6	21	6
	Oh	384	826	1514	822	885	974	o	6 / 6	54	6
	0-2	345	698	1369	845	968	1070	++	6 / 6	64	10
	2-5	386	557	919	655	796	865	++	6 / 6	39	10
	5-10	306	348	392	418	557	662	++	6 / 6	10	14
	10-30	265	298	323	269	332	375	+	6 / 6	7	12
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1806	2100	2260	1366	1517	1687	-	6 / 6	8	8
	Oh	1518	1712	1943	1274	1687	2261	o	6 / 6	10	25
	0-2	1041	1120	1230	922	1128	1509	o	6 / 6	7	18
	2-5	761	855	1007	649	888	1211	o	6 / 6	12	21
	5-10	430	470	530	439	606	748	+	6 / 6	7	18
	10-30	117	137	152	113	130	147	o	6 / 6	9	11

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.11 Bottrop (BOT)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4407 Bottrop, Ruhrgebiet

Nutzung: Laubwald, Rotbuche

Bodentyp: Pseudogley

Bodeneigenschaften: mittlere Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung - Geschiebedecksand (Pleistozän), Flugsand (Weichsel-Spätglazial bis Holozän), holozäne Bachablagerungen
- über Grundmoräne (Saale-Kaltzeit)
- über präquartärem Ton (Tertiär)

Besonderheiten: Düngung oder Kalkung, Grabenentwässerung; BDF liegt in Randlage des Ballungsraums Ruhr.

Belastungssituation: Keine nennenswerten Belastungen durch Schwermetallanreicherungen.

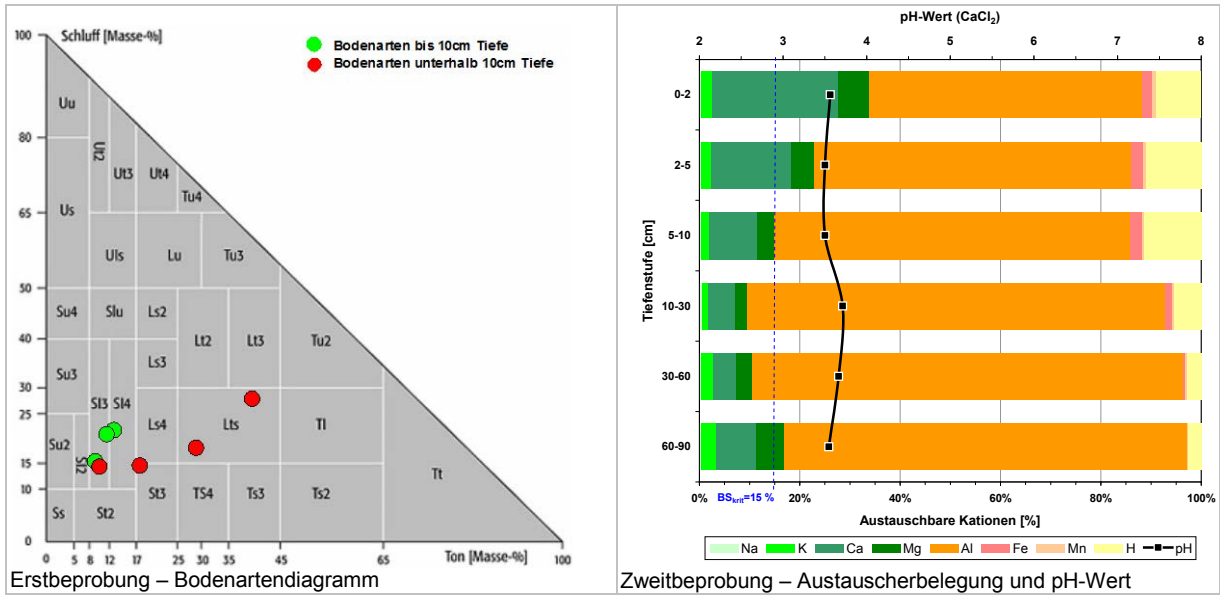
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. Scheinbare Abnahme der Schwermetallgehalte der Zweitbeprobung sind wahrscheinlich auf Standortheterogenitäten zurückzuführen.



Laubwaldbestand auf der BDF
(© Geologischer Dienst NRW)



Bodenprofil eines Pseudogley auf der BDF
(© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 11: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung BOT

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	4,5	4,8	5,2	4,5	4,6	4,7	o	6 / 6	5	2
	Oh	3,4	3,8	4,2	3,8	4,0	4,2	o	6 / 6	8	4
	0-2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,6	o	6 / 6	3	2
	2-5	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	o	6 / 6	2	2
	5-10	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	o	6 / 6	2	2
	10-30	3,3	3,5	3,7	3,6	3,7	3,8	o	6 / 6	3	2
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	22,0	29,7	39,6	27,4	33,6	41,0	+	6 / 6	22	15
	2-5	14,0	17,0	19,3	18,4	22,4	28,5	++	6 / 6	12	16
	5-10	9,0	10,7	12,6	11,6	14,6	17,8	++	6 / 6	15	14
	10-30	6,4	7,1	7,7	8,6	9,6	10,9	++	6 / 6	6	9
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3189	3857	5062	1312	1691	2062	--	6 / 6	19	18
	Oh	682	3221	6545	9219	14046	19307	++	6 / 6	79	24
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	30,70	37,17	40,20	34,80	39,12	41,50	o	6 / 6	10	6
	Oh	19,30	22,83	26,90	16,10	19,27	21,40	-	6 / 6	11	10
	0-2	10,80	13,88	17,70	8,21	10,05	13,40	-	6 / 6	17	20
	2-5	7,30	9,85	11,70	3,66	6,23	10,40	--	6 / 6	19	38
	5-10	3,80	4,77	5,40	2,55	3,20	4,50	--	6 / 6	14	23
	10-30	0,90	1,10	1,40	0,78	0,85	0,99	-	6 / 6	19	10
N _t (%)	L/Of	1,50	1,73	1,90	1,32	1,54	1,71	-	6 / 6	9	9
	Oh	0,90	1,02	1,20	0,70	0,86	0,99	-	6 / 6	11	11
	0-2	0,50	0,62	0,80	0,30	0,38	0,51	--	6 / 6	19	20
	2-5	0,30	0,42	0,50	0,14	0,24	0,40	--	6 / 6	24	39
	5-10	0,20	0,20	0,20	0,08	0,11	0,16	--	6 / 6	0	28
	10-30	0,00	0,08	0,10	0,02	0,03	0,05	--	6 / 6	49	36

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
C/N-Verhältnis	L/Of	20	21	22	24	25	27	+	6 / 6	3	5
	Oh	21	23	25	22	23	23	o	6 / 6	6	3
	0-2	22	23	24	25	26	27	+	6 / 6	5	3
	2-5	22	24	26	25	26	29	+	6 / 6	7	5
	5-10	19	24	27	26	29	32	+	6 / 6	14	7
	10-30	9	11	14	21	30	39	++	5 / 6	18	27
Arsen (mg/kg)	L/Of	5,8	7,2	9,6	3,0	5,5	7,4	-	4 / 6	24	32
	Oh	20,5	26,9	34,6	23,5	25,5	27,4	o	4 / 6	22	6
	0-2	25,6	31,0	36,9	15,7	20,2	29,4	--	4 / 6	17	27
	2-5	17,6	23,8	29,6	5,6	11,7	20,5	--	4 / 6	22	43
	5-10	6,3	8,3	9,6	3,9	5,9	9,6	-	4 / 6	18	35
	10-30	1,3	2,1	2,5	1,2	2,9	4,1	++	4 / 6	25	43
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,85	1,04	1,30	0,68	0,76	0,79	-	6 / 6	14	5
	Oh	0,59	0,76	0,92	0,55	0,63	0,72	-	6 / 6	16	11
	0-2	0,31	0,43	0,61	0,19	0,29	0,47	--	6 / 6	23	38
	2-5	0,21	0,31	0,42	0,10	0,14	0,20	--	6 / 6	30	30
	5-10	0,06	0,16	0,36	0,05	0,07	0,11	--	6 / 6	76	35
	10-30	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	-	6 / 6	11	0
Chrom (mg/kg)	L/Of	40,5	46,3	50,8	13,8	16,1	17,2	--	6 / 6	9	7
	Oh	38,1	43,5	47,4	29,8	32,2	35,1	-	6 / 6	8	7
	0-2	16,2	26,6	32,2	15,3	19,0	25,6	-	6 / 6	23	23
	2-5	12,2	17,8	21,4	9,7	13,0	18,0	-	6 / 6	20	22
	5-10	7,8	10,9	13,3	8,4	10,6	12,4	o	6 / 6	20	12
	10-30	10,2	14,7	22,9	9,6	14,2	17,5	o	6 / 6	30	23
Kupfer (mg/kg)	L/Of	36,5	40,8	45,5	23,8	25,4	26,7	--	6 / 6	9	5
	Oh	50,5	67,7	79,7	51,6	55,8	58,9	-	6 / 6	14	5
	0-2	35,6	48,9	59,8	27,4	36,3	51,3	-	6 / 6	18	26
	2-5	22,1	33,7	41,7	9,2	20,9	35,9	--	6 / 6	23	43
	5-10	9,0	12,9	16,1	4,6	8,7	13,5	--	6 / 6	24	35
	10-30	2,5	3,0	3,5	2,3	2,8	3,7	o	6 / 6	11	20
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,40	0,47	0,56	-	-	-	-	4 / 0	14	
	Oh	0,53	0,60	0,76	-	-	-	-	4 / 0	18	
	0-2	0,37	0,50	0,58	-	-	-	-	4 / 0	20	
	2-5	0,33	0,46	0,52	-	-	-	-	4 / 0	19	
	5-10	0,18	0,22	0,27	-	-	-	-	4 / 0	18	
	10-30	0,07	0,08	0,08	-	-	-	-	4 / 0	8	
Nickel (mg/kg)	L/Of	18,9	20,4	22,1	10,6	11,6	12,2	--	6 / 6	6	5
	Oh	22,4	27,1	28,9	16,7	19,0	20,7	--	6 / 6	9	9
	0-2	10,2	17,4	22,7	7,0	9,6	13,7	--	6 / 6	26	27
	2-5	6,6	11,7	17,3	2,8	5,3	9,2	--	6 / 6	37	41
	5-10	2,0	5,0	7,4	2,1	2,9	4,0	--	6 / 6	42	22
	10-30	3,0	5,8	11,7	2,6	3,5	4,4	--	6 / 6	59	19
Blei (mg/kg)	L/Of	311	374	437	141	150	161	--	6 / 6	12	6
	Oh	436	565	614	331	385	438	--	6 / 6	12	9
	0-2	232	336	417	164	222	332	--	6 / 6	20	29
	2-5	132	219	269	58	126	230	--	6 / 6	23	46
	5-10	60	84	108	32	56	90	--	6 / 6	22	35
	10-30	11	12	14	10	12	15	o	6 / 6	11	17
Zink (mg/kg)	L/Of	197	228	250	160	170	181	-	6 / 6	8	5
	Oh	204	249	285	172	200	227	-	6 / 6	12	11
	0-2	91	155	200	67	96	144	--	6 / 6	26	31
	2-5	55	97	130	21	49	94	--	6 / 6	31	50
	5-10	22	34	43	15	22	34	--	6 / 6	28	30
	10-30	13	17	22	11	15	19	-	6 / 6	20	18

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	775	844	888	611	657	712	-	6 / 6	6	6
	Oh	566	755	847	518	570	603	-	6 / 6	13	6
	0-2	281	465	603	250	328	437	-	6 / 6	24	22
	2-5	195	319	421	104	198	315	--	6 / 6	28	36
	5-10	83	128	155	88	107	143	-	6 / 6	26	18
	10-30	30	35	38	42	46	53	++	6 / 6	10	11
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1727	1829	1973	1049	1158	1256	--	6 / 6	5	7
	Oh	1141	1290	1497	756	902	1037	--	6 / 6	11	11
	0-2	576	749	900	399	517	685	--	6 / 6	16	22
	2-5	365	560	702	200	346	523	--	6 / 6	22	32
	5-10	190	295	353	140	197	272	--	6 / 6	21	25
	10-30	85	93	103	75	94	121	o	6 / 6	6	17

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.12 Castrop-Rauxel (CAR)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4409 Herne, Ruhrgebiet

Nutzung: Laubwald, Buche

Bodentyp: Pseudogley

Bodeneigenschaften: tiefgründig, mittlere Staunässe, basenreicht

Ausgangssubstrate der Bodenbildung - Geschiebedecksand (Weichsel-Kaltzeit), Bachablagerungen (Holozän), Grundmoräne (Saale-Kaltzeit) - über Geschiebedecksand, Grundmoräne und Tonmergelstein (Emscher Mergel der Oberkreide)

Besonderheiten: Düngung oder Kalkung; Lage am Rand des Ballungsraums Ruhrgebiet.

Belastungssituation: Schwermetallanreicherungen, insbesondere (0-2 und 2-5 cm)
As: ca. 40 mg/kg bzw. 31 mg/kg (Spannweite: 27 bis 48 mg/kg)
Pb: ca. 290 mg/kg bzw. 213 mg/kg (Spannweite: 178 bis 336 mg/kg)

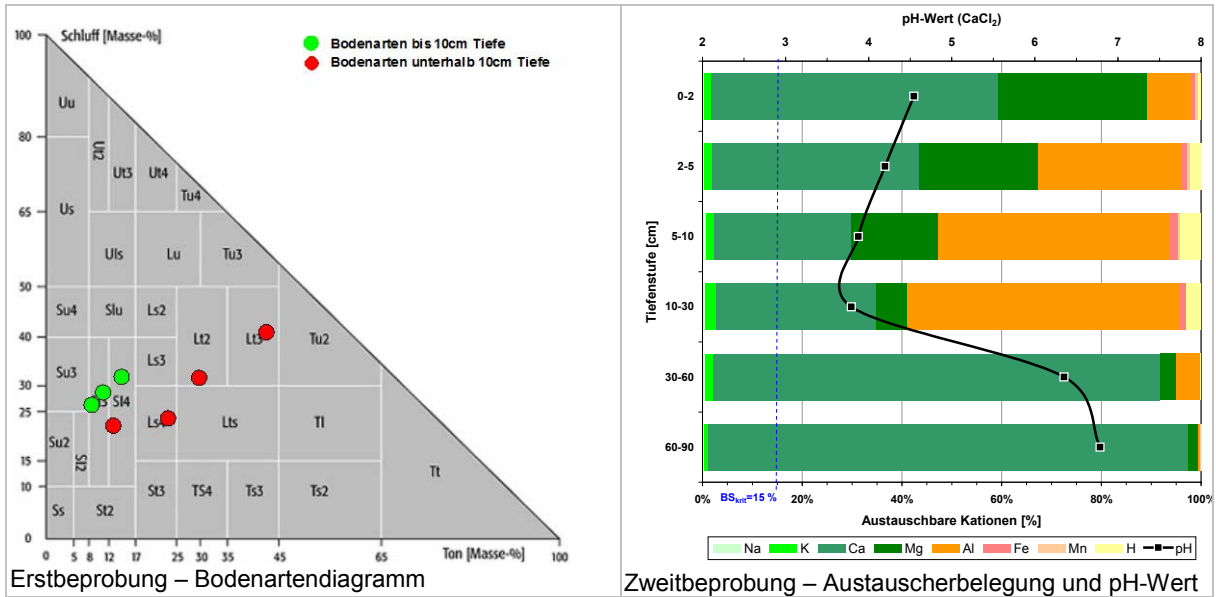
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. Scheinbar abnehmende Schwermetallgehalte in den Tiefenstufen von 0-5 cm korrespondieren mit einer deutlichen Abnahme der C_{org} -Gehalte, in den tieferen Bodenschichten hingegen bleiben C_{org} - und Schadstoffgehalte auf gleichem Niveau. Demnach sind die Veränderungen wahrscheinlich auf Standortheterogenitäten zwischen Erst- und Zweituntersuchung zurückzuführen.



Blick auf die BDF (© Geologischer Dienst NRW)



Bodenprofil eines Pseudogleys (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 12: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung CAR

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,2	3,4	3,5	5,4	5,6	5,8	++	6 / 6	3	3
	Oh	3,1	3,2	3,3	5,4	5,6	5,8	++	6 / 6	1	3
	0-2	3,3	3,3	3,5	4,3	4,5	4,7	++	6 / 6	2	4
	2-5	3,3	3,4	3,5	4,0	4,2	4,4	++	6 / 6	2	4
	5-10	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	+	6 / 6	1	2
	10-30	3,3	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	+	6 / 6	2	3
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-2	15,7	24,4	46,4	77,0	88,2	94,6	++	6 / 6	47	9
	2-5	11,8	16,2	24,3	48,6	67,1	81,5	++	6 / 6	34	19
	5-10	9,0	11,8	17,6	35,8	47,0	55,1	++	6 / 6	27	17
	10-30	7,5	14,6	23,0	29,8	39,9	54,2	++	6 / 6	43	22
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	4470	5825	6722	2027	2375	3085	--	6 / 6	14	16
	Oh	328	767	1342	9666	10254	11705	++	6 / 6	54	8
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	38,20	42,65	47,10	27,90	32,39	35,80	-	6 / 6	8	8
	Oh	29,40	33,35	35,70	21,90	24,62	27,10	-	6 / 6	8	8
	0-2	21,30	24,42	27,40	14,80	17,57	20,80	-	6 / 6	11	14
	2-5	13,60	16,98	22,20	10,40	13,52	16,90	-	6 / 6	19	17
	5-10	5,70	7,60	9,00	5,60	7,65	9,55	o	6 / 6	19	22
	10-30	0,90	1,07	1,30	0,92	1,29	1,87	+	6 / 6	13	29
N _t (%)	L/Of	1,80	1,92	2,00	1,30	1,40	1,52	-	6 / 6	4	6
	Oh	1,20	1,40	1,50	1,01	1,07	1,11	-	6 / 6	9	4
	0-2	0,80	0,92	1,00	0,58	0,64	0,75	--	6 / 6	11	10
	2-5	0,50	0,62	0,80	0,39	0,47	0,54	-	6 / 6	19	13
	5-10	0,20	0,27	0,30	0,22	0,28	0,36	o	6 / 6	19	19
	10-30	0,00	0,07	0,10	0,03	0,05	0,07	-	6 / 6	77	28

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
C/N-Verhältnis	L/Of	20	22	24	21	23	25	o	6 / 6	5	7
	Oh	23	24	25	21	23	24	o	6 / 6	3	5
	0-2	25	27	27	25	28	30	o	6 / 6	4	8
	2-5	27	28	28	27	29	32	o	6 / 6	3	7
	5-10	27	29	30	25	28	31	o	6 / 6	4	8
	10-30	10	11	13	20	26	31	++	4 / 6	11	16
Arsen (mg/kg)	L/Of	3,3	6,9	13,0	9,7	13,9	17,2	++	6 / 6	55	19
	Oh	16,6	32,6	51,4	24,1	31,3	36,1	o	6 / 6	44	14
	0-2	42,2	52,1	62,7	33,8	40,8	47,8	-	6 / 6	15	12
	2-5	38,9	45,4	56,5	27,2	31,0	42,3	--	6 / 6	16	18
	5-10	14,5	18,7	20,9	14,4	18,3	24,3	o	6 / 6	13	20
	10-30	2,3	4,1	6,2	3,4	4,5	6,2	o	6 / 6	31	21
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,94	1,02	1,11	0,64	0,78	0,96	-	6 / 6	7	14
	Oh	0,72	0,87	1,12	0,62	0,79	0,92	o	6 / 6	16	13
	0-2	0,47	0,64	0,92	0,39	0,44	0,50	--	6 / 6	25	9
	2-5	0,38	0,51	0,67	0,23	0,28	0,34	--	6 / 6	25	13
	5-10	0,18	0,25	0,33	0,11	0,16	0,22	--	6 / 6	24	25
	10-30	0,03	0,08	0,13	0,05	0,10	0,14	+	6 / 6	42	35
Chrom (mg/kg)	L/Of	16,3	24,3	28,8	18,1	21,2	24,7	-	6 / 6	21	11
	Oh	32,3	36,7	39,3	29,7	32,8	34,7	-	6 / 6	7	6
	0-2	23,6	27,4	31,4	23,4	26,2	30,0	o	6 / 6	12	9
	2-5	16,5	18,3	22,0	16,6	19,9	27,0	o	6 / 6	12	19
	5-10	9,4	10,7	12,4	13,5	14,8	18,6	++	6 / 6	11	13
	10-30	5,8	8,7	10,2	14,5	18,9	24,7	++	6 / 6	19	22
Kupfer (mg/kg)	L/Of	37,5	51,4	60,6	37,4	45,0	48,2	-	6 / 6	17	9
	Oh	83,2	87,8	93,1	63,7	69,4	75,0	-	6 / 6	5	7
	0-2	70,5	80,5	92,7	56,0	62,5	66,8	-	6 / 6	11	8
	2-5	46,9	60,3	75,8	35,1	45,5	59,8	-	6 / 6	18	21
	5-10	19,4	26,4	31,9	18,2	25,5	35,2	o	6 / 6	19	27
	10-30	2,1	3,3	3,9	2,8	3,5	4,5	o	6 / 6	19	19
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,58	0,72	1,05	-	-	-	-	6 / 0	24	
	Oh	0,74	1,01	1,30	-	-	-	-	6 / 0	22	
	0-2	0,60	0,72	0,84	-	-	-	-	6 / 0	11	
	2-5	0,38	0,57	0,74	-	-	-	-	6 / 0	21	
	5-10	0,19	0,29	0,39	-	-	-	-	6 / 0	24	
	10-30	0,07	0,08	0,09	-	-	-	-	6 / 0	10	
Nickel (mg/kg)	L/Of	13,9	20,7	25,6	14,2	16,3	17,6	-	6 / 6	20	8
	Oh	26,3	30,6	34,0	22,6	24,2	26,1	-	6 / 6	10	6
	0-2	19,0	24,5	29,1	17,9	19,8	21,3	-	6 / 6	16	8
	2-5	14,1	18,6	23,5	11,0	13,9	19,2	-	6 / 6	16	21
	5-10	4,6	8,3	10,5	6,4	8,0	10,6	o	6 / 6	29	23
	10-30	3,4	4,3	7,0	4,8	6,3	8,0	++	6 / 6	32	22
Blei (mg/kg)	L/Of	154	275	345	148	185	212	--	6 / 6	25	11
	Oh	485	558	628	297	313	325	--	6 / 6	9	4
	0-2	377	430	518	266	290	336	--	6 / 6	12	9
	2-5	257	305	381	178	214	272	--	6 / 6	14	16
	5-10	130	165	188	112	135	159	-	6 / 6	13	16
	10-30	12	18	28	13	19	25	o	6 / 6	34	23
Zink (mg/kg)	L/Of	191	219	246	164	198	214	o	6 / 6	10	9
	Oh	241	263	289	199	218	233	-	6 / 6	7	7
	0-2	192	225	264	136	161	192	-	6 / 6	13	13
	2-5	142	174	209	87	115	162	--	6 / 6	18	22
	5-10	64	78	90	45	66	86	-	6 / 6	14	23
	10-30	14	23	32	22	32	42	++	6 / 6	30	28

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	468	583	696	595	650	712	+	6 / 6	16	7
	Oh	391	482	627	536	591	698	+	6 / 6	17	10
	0-2	294	404	498	390	459	612	+	6 / 6	20	17
	2-5	219	317	389	273	351	449	+	6 / 6	22	20
	5-10	111	172	216	189	245	335	++	6 / 6	24	22
	10-30	47	64	77	83	89	98	++	6 / 6	16	6
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1911	2083	2195	1088	1168	1243	--	6 / 6	5	5
	Oh	1482	1712	1933	1028	1124	1212	--	6 / 6	10	7
	0-2	942	1092	1282	707	783	912	-	6 / 6	14	10
	2-5	584	734	898	471	580	739	-	6 / 6	14	18
	5-10	280	362	438	267	362	478	o	6 / 6	18	22
	10-30	60	77	90	62	73	82	o	6 / 6	13	11

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.13 Lammersdorf Buche (LAM Bu)

Auswahlkriterium: Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 5203 Roetgen, Eifel/ Aachen

Nutzung: Laub-Mischwald, Buche und Eichenaltholz, vereinzelt Fichte

Bodentyp: Typische Pseudogleye, podsolig im Oberboden, Gleye entlang eines Wasserlaufs

Bodeneigenschaft- tiefgründig, mittlere bis starke Staunässe, lokal verstärkter Hangwas-
ten: sereinfluss, im Bereich der Gleye hoch anstehendes Grundwasser, ba-
senarm

Ausgangssubstra- Hochflutablagerungen (Holozän über Fließerden (Pleistozän über Phyllit
te der Bodenbil- und Quarzit (Kambrium
dung

Besonderheiten: Direkt benachbart einer Level II-Fläche

Belastungssituati- Schwermetallanreicherungen von Blei, Cadmium in den obersten Tiefen-
on: stufen erhöht

Blei (0-2 cm): ca. 256 mg/kg (Spannweite: 199 bis 291 mg/kg)

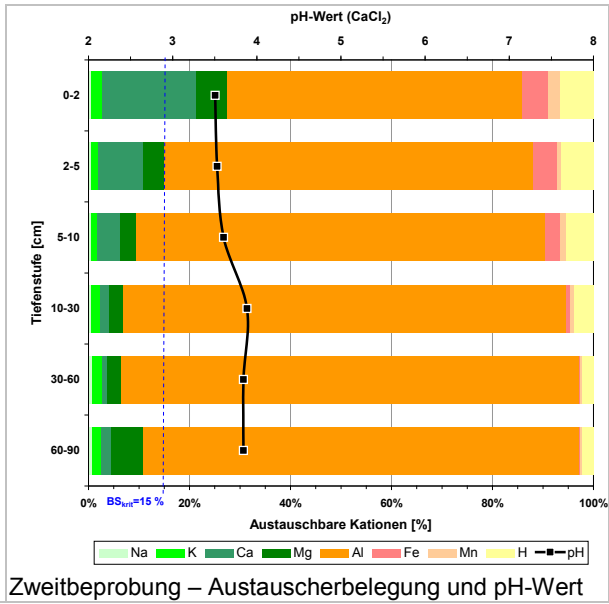
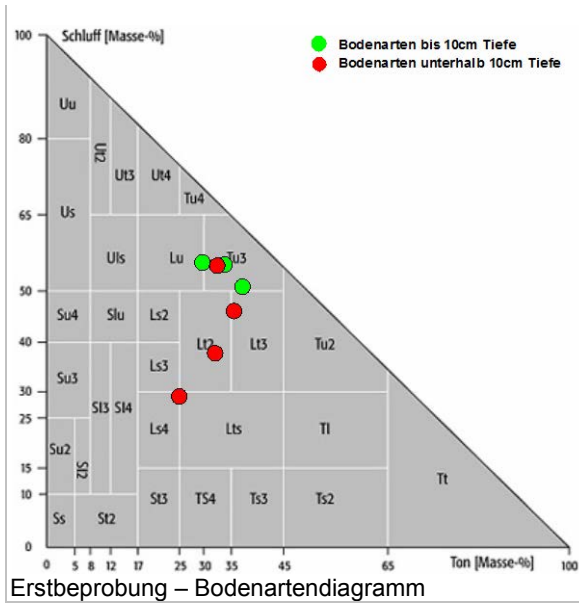
Blei (2-5 cm): ca. 170 mg/kg (Spannweite: 109 bis 220 mg/kg)

Cadmium (0-2 cm): ca. 1,2 mg/kg (Spannweite: 0,75 bis 1,7 mg/kg)

Zeitliche Kein eindeutiger Trend erkennbar. Allerdings ist eine deutliche Abnahme
Entwicklung: der Bleigehalte und gleichzeitige Zunahme der Cadmiumgehalte bei der
zweiten Inventur zu verzeichnen. In diesem Fall lassen sich die Verände-
rungen allerdings nicht auf unterschiedliche C_{org} -Gehalte oder eine verän-
derte pH-Wert-Situation zurückführen. Möglicherweise zeigt sich hier ein
abgeschwächter Einfluss von atmosphärischen Einträgen durch Fernemissio-
nen.



Blick auf die BDF (© LANUV)



Tab. A 13: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung LAM Bu

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	4,1	4,3	4,6	3,8	4,0	4,1	o	6 / 6	4	3
	Oh	-	-	-	3,4	3,5	3,7		0 / 5		3
	0-2	3,4	3,6	3,7	3,3	3,5	3,6	o	6 / 6	3	4
	2-5	3,5	3,5	3,7	3,3	3,5	3,7	o	6 / 6	2	4
	5-10	3,5	3,6	3,7	3,5	3,6	3,7	o	6 / 6	2	3
	10-30	3,7	3,9	4,1	3,8	3,9	4,0	o	6 / 6	3	2
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	0-2	32,3	37,5	44,2	16,8	27,0	41,8	-	6 / 6	14	31
	2-5	16,2	20,8	25,3	9,8	14,9	20,2	-	6 / 6	18	27
	5-10	11,8	14,2	17,4	6,4	9,5	11,4	--	6 / 6	14	19
	10-30	10,4	14,1	17,7	5,4	6,8	9,7	--	6 / 6	20	22
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3955	4792	5881	1613	2081	3208	--	6 / 6	13	30
	Oh	4	7	11	1356	3985	6782	++	4 / 5	49	54
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	32,77	36,64	41,19	39,10	40,55	43,20	+	6 / 6	8	4
	Oh	27,39	29,48	34,50	25,90	29,42	31,50	o	4 / 5	11	7
	0-2	11,80	14,38	17,47	13,30	16,50	20,50	+	6 / 6	13	16
	2-5	5,93	8,11	9,18	6,30	9,14	11,10	+	6 / 6	15	21
	5-10	5,24	5,67	6,42	3,79	4,75	5,93	-	6 / 6	8	16
	10-30	1,00	1,26	1,55	0,86	1,04	1,14	-	6 / 6	18	11

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Nt (%)	L/Of	1,38	1,55	1,72	1,46	1,55	1,65	o	6 / 6	9	5
	Oh	1,32	1,47	1,66	1,42	1,54	1,66	o	4 / 5	9	7
	0-2	0,61	0,78	1,01	0,67	0,86	1,08	+	6 / 6	17	17
	2-5	0,30	0,42	0,48	0,30	0,44	0,60	o	6 / 6	17	25
	5-10	0,26	0,28	0,34	0,16	0,21	0,27	-	6 / 6	12	20
	10-30	0,07	0,09	0,11	0,05	0,06	0,08	-	6 / 6	16	14
C/N-Verhältnis	L/Of	21	24	27	25	26	27	+	6 / 6	8	3
	Oh	19	20	21	18	19	20	o	4 / 5	6	5
	0-2	17	18	19	18	19	21	o	6 / 6	3	7
	2-5	18	19	20	19	21	23	o	6 / 6	5	7
	5-10	19	20	23	20	22	24	+	6 / 6	7	6
	10-30	13	15	18	15	17	19	+	6 / 6	14	9
Arsen (mg/kg)	L/Of	3,6	7,2	9,4	6,4	6,7	7,2	o	6 / 6	30	5
	Oh	26,3	28,1	30,9	12,4	15,9	20,6	--	4 / 5	7	21
	0-2	18,1	22,4	25,1	14,8	19,1	21,1	-	6 / 6	13	13
	2-5	14,3	18,8	22,5	11,9	15,9	20,6	-	6 / 6	17	18
	5-10	11,0	16,1	22,2	9,5	11,9	16,1	-	6 / 6	25	20
	10-30	12,2	16,0	22,1	10,9	13,1	15,8	-	6 / 6	25	15
Cadmium (mg/kg)	L/Of	1,01	1,57	2,12	1,42	1,69	1,87	o	6 / 6	26	11
	Oh	0,90	1,01	1,16	1,70	1,83	2,09	++	4 / 5	11	9
	0-2	0,40	0,52	0,65	0,75	1,21	1,70	++	6 / 6	18	26
	2-5	0,17	0,27	0,34	0,41	0,67	1,05	++	6 / 6	24	41
	5-10	0,15	0,25	0,52	0,25	0,41	0,66	++	6 / 6	61	37
	10-30	0,06	0,09	0,13	0,08	0,13	0,19	++	6 / 6	30	35
Chrom (mg/kg)	L/Of	12,9	18,5	24,3	5,3	6,2	6,9	--	6 / 6	22	9
	Oh	21,5	28,5	33,9	15,7	17,4	19,0	--	4 / 5	18	9
	0-2	19,6	23,1	25,8	17,6	19,5	22,9	-	6 / 6	12	10
	2-5	16,4	21,3	25,1	16,5	19,3	22,8	o	6 / 6	15	14
	5-10	17,9	20,2	23,4	17,3	20,3	24,3	o	6 / 6	10	12
	10-30	17,8	21,4	24,8	23,8	25,2	28,0	+	6 / 6	10	6
Kupfer (mg/kg)	L/Of	20,9	23,0	25,9	15,5	17,5	21,5	-	6 / 6	8	13
	Oh	46,6	51,4	60,4	27,1	33,6	50,2	--	4 / 5	12	29
	0-2	18,2	22,8	29,2	20,5	24,4	28,1	o	6 / 6	18	10
	2-5	11,0	14,2	18,7	12,9	15,7	20,5	+	6 / 6	20	20
	5-10	8,4	11,0	15,9	7,9	10,5	13,8	o	6 / 6	25	22
	10-30	8,3	9,7	10,9	10,6	12,2	13,7	+	6 / 6	10	11
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,37	0,48	0,55	-	-	-	-	6 / 0	16	
	Oh	0,91	1,48	2,31	-	-	-	-	4 / 0	41	
	0-2	0,46	0,65	0,81	-	-	-	-	6 / 0	19	
	2-5	0,26	0,35	0,45	-	-	-	-	6 / 0	21	
	5-10	0,15	0,23	0,28	-	-	-	-	6 / 0	19	
	10-30	0,06	0,08	0,10	-	-	-	-	6 / 0	20	
Nickel (mg/kg)	L/Of	4,7	8,5	10,8	4,7	5,7	6,4	--	6 / 6	26	10
	Oh	15,1	26,9	48,6	10,3	11,1	12,0	--	4 / 5	58	7
	0-2	7,4	11,8	16,4	6,1	8,7	11,7	-	6 / 6	28	25
	2-5	5,2	7,7	11,1	4,2	6,3	8,4	-	6 / 6	29	27
	5-10	5,2	7,7	11,2	4,1	5,9	7,7	-	6 / 6	32	23
	10-30	4,5	8,8	17,8	6,8	8,3	10,5	o	6 / 6	59	16

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Blei (mg/kg)	L/Of	176	238	280	92	107	142	--	6 / 6	17	18
	Oh	621	751	947	261	315	381	--	4 / 5	19	17
	0-2	231	306	383	199	256	291	-	6 / 6	19	13
	2-5	152	192	244	109	171	220	-	6 / 6	18	23
	5-10	111	128	144	73	93	133	-	6 / 6	11	23
	10-30	34	36	43	22	26	29	-	6 / 6	10	11
Zink (mg/kg)	L/Of	130	145	173	104	110	121	-	6 / 6	11	6
	Oh	127	136	148	115	122	131	-	4 / 5	6	5
	0-2	66	79	90	55	84	121	o	6 / 6	13	27
	2-5	48	55	64	36	55	66	o	6 / 6	13	24
	5-10	40	53	74	33	48	67	-	6 / 6	22	26
	10-30	45	51	66	43	47	53	o	6 / 6	15	10
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	536	596	634	535	569	599	o	6 / 6	6	4
	Oh	625	768	990	700	716	732	o	4 / 5	21	2
	0-2	301	438	491	453	526	650	+	6 / 6	17	15
	2-5	162	275	359	257	349	437	+	6 / 6	26	21
	5-10	146	207	245	213	245	307	+	6 / 6	17	16
	10-30	105	135	169	141	153	169	+	6 / 6	16	8
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1489	1657	1758	1080	1144	1192	--	6 / 6	6	4
	Oh	1753	2020	2323	1277	1392	1541	--	4 / 5	12	7
	0-2	842	1069	1436	756	932	1045	-	6 / 6	20	13
	2-5	471	656	784	385	561	719	-	6 / 6	19	22
	5-10	364	465	568	247	342	542	-	6 / 6	14	32
	10-30	184	232	322	161	185	226	-	6 / 6	21	15

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

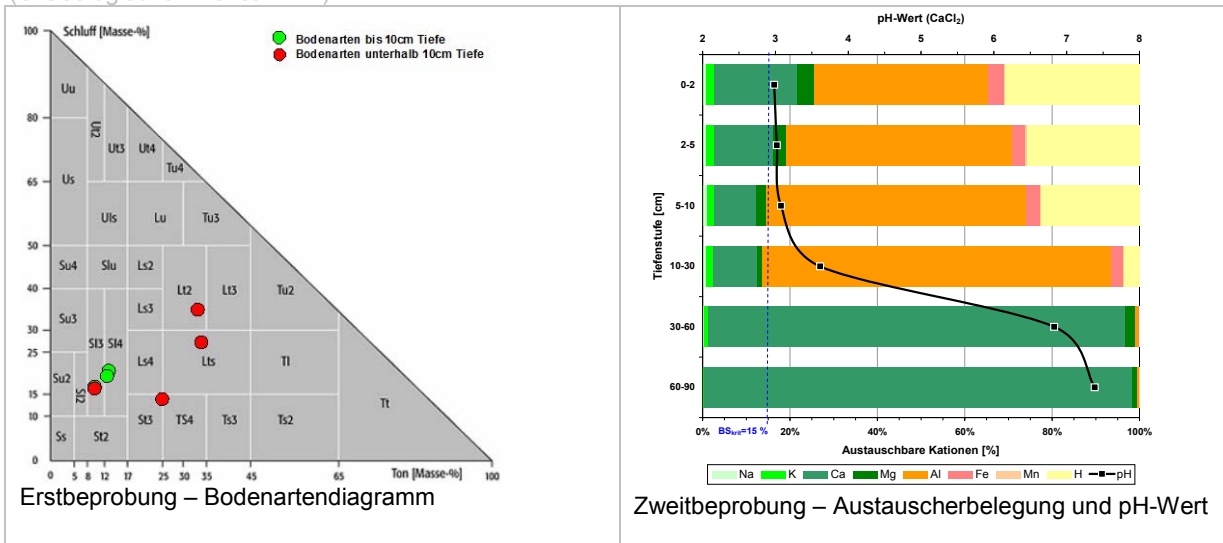
Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.14 Everswinkel (EWI)

- Auswahlkriterium:** Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung
- Lage:** TK25 Blatt 4013 Warendorf, Sandmünsterland beiderseits der Ems
- Nutzung:** Laubwald, Eiche, Rotbuche, Hainbuche
- Bodentyp:** Typischer Pseudogley, schwach podsolig
- Bodeneigenschaften:** sehr tiefgründig, mittlere Staunässe, kein Grundwassereinfluss, mäßig basenhaltig
- Ausgangssubstrate der Bodenbildung:** - Grundmoräne/ Geschiebemergel (Saale-Kaltzeit)
- über Vorschüttsand(Mittelpleistozän) , Kalkmergelstein (Oberkreide)
- Besonderheiten:** Direkt benachbart der Naturwaldzelle 25 mit Bestands-Biomonitoring
- Belastungssituation:** Sehr niedriges Belastungsniveau ohne signifikante Schwermetallanreicherungen.
- Zeitliche Entwicklung:** Kein eindeutiger Trend erkennbar, Blei- und Zinkgehalte nehmen jedoch deutlich ab. Zusammenhang zwischen Abnahme und C_{org} -Gehalten nicht überprüfbar, da keine C_{org} -Bestimmung im Rahmen der Zweitbeprobung erfolgt ist. Basensättigung oberhalb des kritischen Wertes und zur Tiefe stark zunehmend durch karbonatische Ausgangsgesteine.



Bestandesbild aus der benachbarten NWZ
(© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 14: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung EWI

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,5	o	6 / 6	1	2
	Oh	-	-	-	2,9	3,0	3,1		0 / 6		2
	0-2	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	o	6 / 6	1	1
	2-5	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	o	6 / 6	1	1
	5-10	3,0	3,1	3,2	3,0	3,1	3,1	o	6 / 6	2	1
	10-30	3,6	3,8	4,4	3,6	3,6	3,7	o	6 / 6	8	1
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	0-2	31,2	35,2	41,1	17,5	24,8	29,4	-	6 / 6	11	21
	2-5	21,1	24,9	29,7	13,2	18,7	23,2	-	6 / 6	13	24
	5-10	15,6	17,3	20,6	10,7	14,5	19,0	-	6 / 6	11	20
	10-30	12,9	21,0	47,8	11,5	13,6	16,3	--	6 / 6	63	16
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	5002	6539	9744	5301	6772	8516	o	6 / 6	28	17
	Oh	60	86	118	4309	8587	15947	++	6 / 6	26	52
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	35,73	40,03	41,88	-	-	-		6 / 0	6	
	Oh	23,05	30,07	36,49	-	-	-		6 / 0	18	
	0-2	10,44	14,15	18,56	-	-	-		6 / 0	19	
	2-5	7,44	9,79	11,60	-	-	-		6 / 0	15	
	5-10	3,82	4,70	5,94	-	-	-		6 / 0	17	
	10-30	0,86	1,07	1,44	-	-	-		6 / 0	19	
N _i (%)	L/Of	1,81	1,98	2,03	1,99	2,14	2,34	o	6 / 6	4	6
	Oh	1,20	1,53	1,86	0,87	1,08	1,27	-	6 / 6	18	17
	0-2	0,58	0,76	0,98	0,28	0,51	0,76	--	6 / 6	17	38
	2-5	0,45	0,52	0,59	0,19	0,33	0,54	--	6 / 6	10	41
	5-10	0,21	0,25	0,32	0,10	0,19	0,29	-	6 / 6	18	35
	10-30	0,06	0,07	0,11	0,04	0,05	0,06	-	6 / 6	29	14
C/N-Verhältnis	L/Of	20	20	21	-	-	-		6 / 0	2	
	Oh	19	20	20	-	-	-		6 / 0	1	
	0-2	18	19	19	-	-	-		6 / 0	3	
	2-5	17	19	20	-	-	-		6 / 0	7	
	5-10	16	19	20	-	-	-		6 / 0	10	
	10-30	13	16	19	-	-	-		6 / 0	14	
Arsen (mg/kg)	L/Of	1,5	1,9	2,3	2,0	2,4	3,0	+	6 / 6	16	17
	Oh	3,9	5,6	7,2	4,2	5,1	5,9	o	6 / 6	25	13
	0-2	3,4	4,6	5,5	3,2	4,5	6,5	o	6 / 6	18	28
	2-5	3,1	4,5	5,4	3,0	3,9	5,7	-	6 / 6	23	29
	5-10	2,3	3,6	6,0	2,4	3,3	4,8	-	6 / 6	36	29
	10-30	2,2	2,3	2,4	2,8	3,6	4,6	++	6 / 6	5	19
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,26	0,31	0,38	0,40	0,45	0,51	++	6 / 6	15	10
	Oh	0,40	0,53	0,79	0,16	0,34	0,58	--	6 / 6	27	41
	0-2	0,10	0,14	0,25	0,06	0,15	0,21	o	6 / 6	39	34
	2-5	0,06	0,08	0,09	0,05	0,10	0,14	+	6 / 6	16	32
	5-10	0,01	0,03	0,04	0,04	0,07	0,08	++	6 / 6	42	25
	10-30	0,02	0,09	0,30	0,09	0,10	0,13	+	6 / 6	119	17

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	8,0	9,2	10,0	6,6	7,8	8,8	-	6 / 6	9	11
	Oh	16,6	21,5	28,2	9,9	12,0	13,8	--	6 / 6	21	12
	0-2	10,3	12,6	16,2	7,9	10,3	13,5	-	6 / 6	17	22
	2-5	8,7	10,9	12,9	7,9	9,1	11,3	-	6 / 6	16	17
	5-10	5,8	9,2	12,7	7,1	8,8	11,3	o	6 / 6	27	18
	10-30	7,0	8,9	12,2	13,9	17,5	19,4	++	6 / 6	23	13
Kupfer (mg/kg)	L/Of	19,1	20,1	21,4	15,4	16,9	19,7	-	6 / 6	5	9
	Oh	20,3	28,6	35,6	14,4	16,9	19,1	--	6 / 6	20	10
	0-2	11,7	14,8	18,0	4,7	9,8	14,8	--	6 / 6	16	41
	2-5	8,5	10,1	11,2	3,1	5,9	10,7	--	6 / 6	10	49
	5-10	3,1	3,9	5,4	1,5	3,1	5,3	-	6 / 6	21	46
	10-30	1,0	1,2	1,4	1,2	1,7	1,9	++	6 / 6	12	16
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,36	0,38	0,39	-	-	-	-	6 / 0	3	
	Oh	0,46	0,65	0,83	-	-	-	-	6 / 0	23	
	0-2	0,23	0,31	0,36	-	-	-	-	6 / 0	17	
	2-5	0,19	0,23	0,25	-	-	-	-	6 / 0	11	
	5-10	0,07	0,09	0,12	-	-	-	-	6 / 0	23	
	10-30	0,04	0,05	0,06	-	-	-	-	6 / 0	19	
Nickel (mg/kg)	L/Of	5,0	8,5	19,1	6,1	6,5	7,0	-	6 / 6	63	6
	Oh	20,7	32,9	45,2	5,0	6,4	7,3	--	6 / 6	26	13
	0-2	5,3	7,5	10,2	2,0	3,7	5,5	--	6 / 6	25	35
	2-5	3,3	6,8	13,4	1,8	2,6	3,7	--	6 / 6	56	29
	5-10	4,0	4,9	7,1	1,6	2,0	2,6	--	6 / 6	23	21
	10-30	1,9	3,9	7,2	3,0	4,0	4,7	o	6 / 6	49	15
Blei (mg/kg)	L/Of	87	96	109	53	62	70	--	6 / 6	8	9
	Oh	174	259	339	102	133	160	--	6 / 6	26	14
	0-2	102	132	165	38	80	121	--	6 / 6	16	40
	2-5	76	90	100	29	51	88	--	6 / 6	10	44
	5-10	34	42	55	15	29	49	--	6 / 6	22	41
	10-30	9	15	20	8	9	9	--	6 / 6	24	7
Zink (mg/kg)	L/Of	68	75	77	53	56	59	-	6 / 6	5	4
	Oh	68	89	113	35	45	51	--	6 / 6	16	13
	0-2	43	46	53	12	23	37	--	6 / 6	8	41
	2-5	28	31	35	10	15	22	--	6 / 6	9	34
	5-10	15	19	30	8	10	15	--	6 / 6	27	29
	10-30	14	17	23	14	18	20	o	6 / 6	21	13
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	571	620	668	605	678	757	o	6 / 6	5	7
	Oh	391	546	686	327	406	474	-	6 / 6	19	14
	0-2	245	274	354	148	230	315	-	6 / 6	15	29
	2-5	174	188	202	111	160	238	-	6 / 6	6	29
	5-10	76	93	120	67	106	149	+	6 / 6	16	27
	10-30	21	32	49	43	46	48	++	6 / 6	30	3
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	2122	2231	2394	1640	1878	2250	-	6 / 6	4	14
	Oh	1483	2046	2437	948	1107	1280	--	6 / 6	20	14
	0-2	798	1002	1308	371	614	888	--	6 / 6	18	32
	2-5	557	694	804	257	410	646	--	6 / 6	15	35
	5-10	270	348	399	147	259	393	-	6 / 6	14	33
	10-30	94	116	152	90	93	100	-	6 / 6	17	4

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.15 Goch (GOC)

Auswahlkriterium: Emittententfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung

Lage: TK25 Blatt 4303 Udem,

Nutzung: Laubwald, Erle, untergeordnet diverses Laubholz, Buche, und Birke

Bodentyp: Pseudogley-Gley

Bodeneigenschaften: tiefgründig, schwache Staunässe, Grundwasser artesisch gespannt, Schwankungsbereich während des hydrologischen Sommerhalbjahres mittel bis tief (60-<100cm, mäßig basenhaltig)

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: fluviatile Ablagerungen (Holozän und Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän)

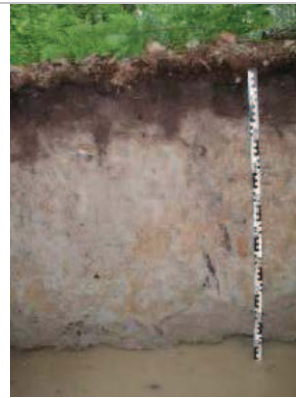
Besonderheiten: Untersuchung eines Gleybodens im Rahmen des Dauerbeobachtungsprogramms

Belastungssituation: Es wurden keine nennenswerten Schwermetallanreicherungen im Rahmen der Erstuntersuchung festgestellt.

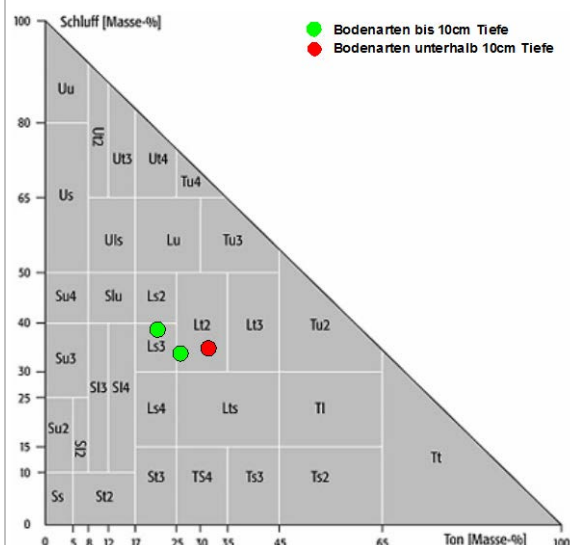
Zeitliche Entwicklung: Bisher wurde nur eine Erstuntersuchung durchgeführt. Die Zweituntersuchung erfolgt im Jahr 2013.



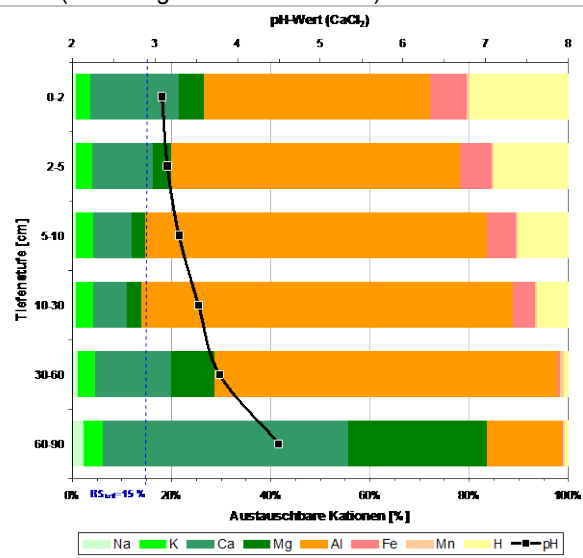
Blick auf den Südwestteil der BDF
(© Geologischer Dienst NRW)



Bodenprofil eines Pseudogley-Gleys
(© Geologischer Dienst NRW)



Erstbeprobung – Bodenartendiagramm



Zweitbeprobung – Austauschbelegung und pH-Wert

Tab. A 15: Kennwerte der Erstbeprobung GOC

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	3,2	3,3	3,4	-	-	-		6 /	2	
	Oh	2,8	2,9	3,1	-	-	-		6 /	4	
	0-2	2,9	3,1	3,3	-	-	-		6 /	5	
	2-5	3,0	3,1	3,3	-	-	-		6 /	3	
	5-10	3,2	3,3	3,5	-	-	-		6 /	3	
	10-30	3,4	3,5	3,7	-	-	-		6 /	4	
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-		0 /		
	Oh	-	-	-	-	-	-		0 /		
	0-2	22,6	26,1	31,2	-	-	-		6 /	13	
	2-5	16,6	19,7	22,8	-	-	-		6 /	13	
	5-10	12,2	14,5	16,8	-	-	-		6 /	11	
	10-30	9,9	13,9	15,5	-	-	-		6 /	15	
Humusauflage (g/m ²)	L/Of	3820	5271	6787	-	-	-		6 /	18	
	Oh	1251	3323	5212	-	-	-		6 /	52	
	0-2	-	-	-	-	-	-		0 /		
	2-5	-	-	-	-	-	-		0 /		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 /		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 /		
C _{org} (%)	L/Of	39,22	42,47	46,90	-	-	-		6 /	6	
	Oh	27,54	33,96	42,14	-	-	-		6 /	18	
	0-2	10,34	12,66	16,18	-	-	-		6 /	18	
	2-5	6,06	8,04	9,69	-	-	-		6 /	18	
	5-10	4,03	5,26	6,89	-	-	-		6 /	22	
	10-30	2,37	3,00	4,08	-	-	-		6 /	21	
N _i (%)	L/Of	2,15	2,28	2,58	-	-	-		6 /	7	
	Oh	1,60	1,95	2,43	-	-	-		6 /	17	
	0-2	0,68	0,82	1,05	-	-	-		6 /	18	
	2-5	0,41	0,54	0,64	-	-	-		6 /	17	
	5-10	0,25	0,37	0,47	-	-	-		6 /	23	
	10-30	0,18	0,22	0,29	-	-	-		6 /	19	
C/N-Verhältnis	L/Of	18	19	19	-	-	-		6 /	2	
	Oh	17	17	18	-	-	-		6 /	1	
	0-2	15	15	16	-	-	-		6 /	2	
	2-5	15	15	15	-	-	-		6 /	2	
	5-10	14	14	16	-	-	-		6 /	6	
	10-30	13	13	14	-	-	-		6 /	4	
Arsen (mg/kg)	L/Of	1,5	1,8	2,2	-	-	-		6 /	16	
	Oh	2,8	4,7	6,9	-	-	-		6 /	38	
	0-2	8,8	12,1	14,8	-	-	-		6 /	16	
	2-5	11,4	13,4	15,2	-	-	-		6 /	12	
	5-10	7,3	10,6	12,8	-	-	-		6 /	24	
	10-30	8,1	10,8	13,1	-	-	-		6 /	15	
Cadmium (mg/kg)	L/Of	0,36	0,47	0,59	-	-	-		6 /	19	
	Oh	0,36	0,43	0,51	-	-	-		6 /	16	
	0-2	0,19	0,25	0,29	-	-	-		6 /	16	
	2-5	0,15	0,20	0,22	-	-	-		6 /	13	
	5-10	0,12	0,17	0,26	-	-	-		6 /	30	
	10-30	0,09	0,14	0,17	-	-	-		6 /	24	

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Chrom (mg/kg)	L/Of	8,1	10,4	12,0	-	-	-		6 /	13	
	Oh	11,0	15,5	20,6	-	-	-		6 /	22	
	0-2	20,1	23,4	27,8	-	-	-		6 /	12	
	2-5	20,1	25,1	29,1	-	-	-		6 /	12	
	5-10	18,2	24,7	29,8	-	-	-		6 /	18	
	10-30	21,4	26,6	32,3	-	-	-		6 /	17	
Kupfer (mg/kg)	L/Of	22,2	24,8	28,7	-	-	-		6 /	10	
	Oh	23,9	29,0	33,0	-	-	-		6 /	11	
	0-2	13,5	17,0	22,9	-	-	-		6 /	21	
	2-5	9,2	14,7	28,3	-	-	-		6 /	48	
	5-10	7,0	10,1	13,1	-	-	-		6 /	21	
	10-30	6,1	9,0	14,9	-	-	-		6 /	35	
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,27	0,31	0,34	-	-	-		6 /	9	
	Oh	0,42	0,46	0,50	-	-	-		6 /	6	
	0-2	0,26	0,29	0,31	-	-	-		6 /	7	
	2-5	0,17	0,20	0,23	-	-	-		6 /	12	
	5-10	0,11	0,14	0,16	-	-	-		6 /	14	
	10-30	0,07	0,09	0,11	-	-	-		6 /	18	
Nickel (mg/kg)	L/Of	11,5	13,1	15,7	-	-	-		6 /	12	
	Oh	11,5	14,1	16,9	-	-	-		6 /	15	
	0-2	7,8	10,1	12,2	-	-	-		6 /	17	
	2-5	7,8	10,5	12,9	-	-	-		6 /	17	
	5-10	7,6	10,7	13,7	-	-	-		6 /	21	
	10-30	10,6	12,8	15,4	-	-	-		6 /	14	
Blei (mg/kg)	L/Of	47	59	73	-	-	-		6 /	19	
	Oh	91	131	164	-	-	-		6 /	20	
	0-2	69	89	109	-	-	-		6 /	16	
	2-5	50	67	115	-	-	-		6 /	37	
	5-10	32	41	50	-	-	-		6 /	19	
	10-30	21	25	30	-	-	-		6 /	12	
Zink (mg/kg)	L/Of	75	83	94	-	-	-		6 /	9	
	Oh	57	67	78	-	-	-		6 /	12	
	0-2	35	42	49	-	-	-		6 /	12	
	2-5	31	39	44	-	-	-		6 /	14	
	5-10	28	37	45	-	-	-		6 /	17	
	10-30	35	40	47	-	-	-		6 /	12	
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	709	777	850	-	-	-		6 /	7	
	Oh	703	754	812	-	-	-		6 /	6	
	0-2	636	703	754	-	-	-		6 /	7	
	2-5	468	546	606	-	-	-		6 /	10	
	5-10	322	391	497	-	-	-		6 /	18	
	10-30	210	244	263	-	-	-		6 /	8	
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	2723	2915	3264	-	-	-		6 /	7	
	Oh	2351	2690	3172	-	-	-		6 /	13	
	0-2	958	1180	1468	-	-	-		6 /	17	
	2-5	660	810	967	-	-	-		6 /	16	
	5-10	463	589	731	-	-	-		6 /	19	
	10-30	304	391	538	-	-	-		6 /	23	

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = **o** gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = **+/-** Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = **++/--** starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.16 Duisburg Mattlerbusch (DUI Ma)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet: hohe urban-industriell bedingte Schadstoffbelastung durch den Eintrag kontaminierter Stäube

Lage: TK25 Blatt 4406 Dinslaken, Niederrheinisches Tiefland

Nutzung: Laubwald, Eiche, stellenweise Rotbuche

Bodentyp: Pseudogley-Braunerde, pseudovergleyter Braunerde-Gley, untergeordnet Pseudogley-Gley und vergleyte Braunerde

Bodeneigenschaften: sehr tiefgründig, sehr schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenarm

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: - Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän)
- Bachablagerungen des Holozän, teils Niedermoortorf
- teils über Terrassenablagerung (Niederterrasse, Weichsel-Spätglazial)

Besonderheiten: Bestandskalkung; der Revierpark Mattlerbusch ist ein stark frequentiertes Naherholungsgebiet

Belastungssituation: Schwermetallanreicherungen im Oberboden, insbesondere Blei
Erstbeprobung (0-5 cm): ca. 480 mg/kg (Spannweite: 428 bis 555 mg/kg)
Zweitbeprobung (0-2 cm): ca. 355 mg/kg (Spannweite: 283 bis 394 mg/kg)
Zweitbeprobung (2-5 cm): ca. 360 mg/kg (Spannweite: 274 bis 418 mg/kg)

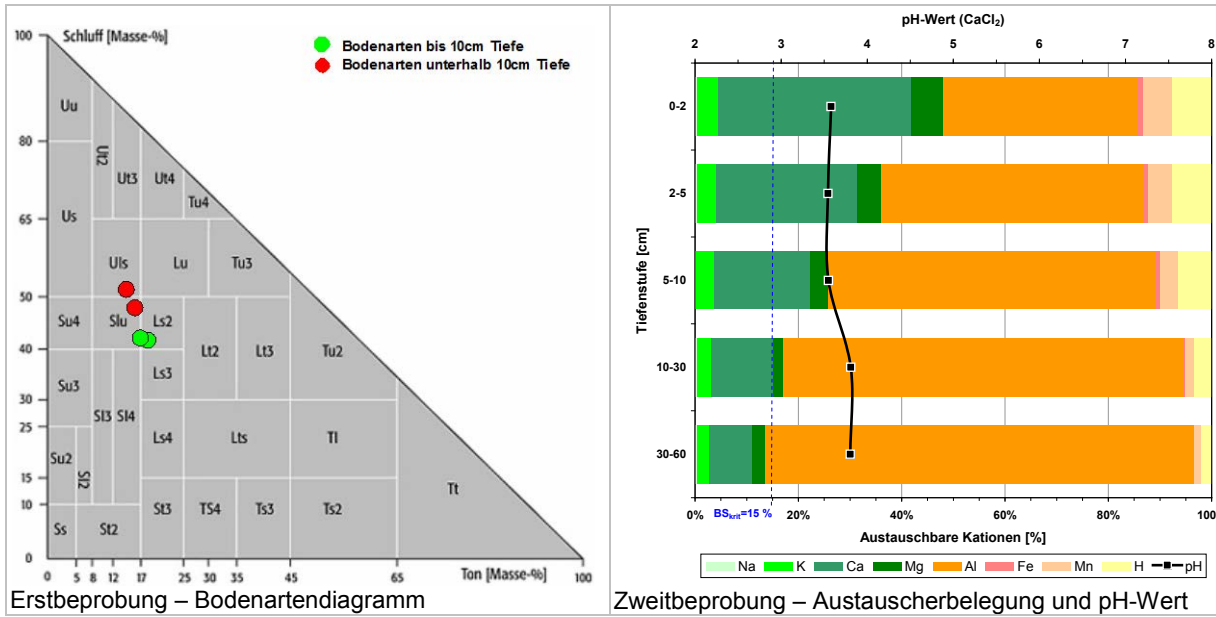
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. Ein Vergleich der Messwerte für die Tiefenstufen bis 5 cm Tiefe ist aufgrund abweichender Beprobungstiefen zwischen Erst- und Zweitbeprobung nicht möglich.



Laubwaldbestand auf der BDF (© LANUV)



Pseudovergleyte Gley-Braunerde (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 16: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung DUI Ma

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	cv (%)				
pH (CaCl ₂)	L/Of										
	L/Of+O	4,1	4,3	4,4					6 / 6	2	4
	h				3,8	4,1	4,3	o	6 / 6	3	4
	Oh	3,6	3,9	4,0	-	-	-	-	6 / -	3	
	0-2	-	-	-	3,5	3,6	3,7		- / 6		3
	2-5	-	-	-	3,4	3,5	3,7		- / 6		2
	0-5	3,6	3,7	3,9	-	-	-		6 / -	3	
Basensättigung (%)	L/Of										
	L/Of+O								0 / 0		
	h	-	-	-	-	-	-	-	0 / -		
	Oh	-	-	-	33,9	47,3	58,1		- / 6		17
	0-2	-	-	-	26,3	35,7	47,3		- / 6		19
	2-5	53,8	56,5	59,1	-	-	-		2 / -	7	
	0-5	30,6	42,3	53,9	19,1	25,6	33,0	--	2 / 6	39	20
Humusaufgabe (g/m ²)	L/Of										
	L/Of+O	11922	14863	17967							
	h				2394	3109	3737	--	6 / 6	13	18
	Oh	11489	13798	17556	-	-	-	-	6 / -	19	
	0-2	-	-	-	-	-	-	-	- / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-	-	- / 0		
	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / -		
5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0			
10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0			

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	cv (%)				
C _{org} (%)	L/Of L/Of+O h	31,87	36,28	39,22	17,80	21,53	26,10	--	6 / 6	9	14
	Oh	13,34	16,52	17,86	-	-	-		6 / -	11	
	0-2	-	-	-	10,60	12,97	16,50		- / 6		18
	2-5	-	-	-	8,57	11,15	14,40		- / 6		21
	0-5	10,31	11,10	12,02	-	-	-		6 / -	6	
	5-10	7,24	8,07	9,22	4,99	9,02	11,80	+	6 / 6	11	26
	10-30	1,89	2,47	3,10	1,05	1,35	2,09	--	6 / 6	18	28
N _t (%)	L/Of L/Of+O h	1,39	1,51	1,57	0,77	0,95	1,26	--	6 / 6	4	18
	Oh	0,67	0,86	0,96	-	-	-		6 / -	12	
	0-2	-	-	-	0,47	0,60	0,77		- / 6		19
	2-5	-	-	-	0,33	0,48	0,63		- / 6		23
	0-5	0,46	0,52	0,56	-	-	-		6 / -	8	
	5-10	0,30	0,35	0,39	0,20	0,37	0,51	o	6 / 6	10	27
	10-30	0,10	0,13	0,15	0,04	0,06	0,09	--	6 / 6	15	26
C/N-Verhältnis	L/Of L/Of+O h	21	24	25	21	23	24	o	6 / 6	6	6
	Oh	19	19	20	-	-	-		6 / -	3	
	0-2	-	-	-	21	22	23		- / 6		3
	2-5	-	-	-	21	23	26		- / 6		8
	0-5	21	22	22	-	-	-		6 / -	2	
	5-10	22	23	24	22	24	26	o	6 / 6	4	7
	10-30	18	19	20	20	23	26	+	6 / 6	4	9
Arsen (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	9,9	11,8	15,5	18,5	21,8	23,9	++	6 / 6	20	10
	Oh	25,8	31,8	34,8	-	-	-		6 / -	10	
	0-2	-	-	-	25,0	30,3	33,5		- / 6		10
	2-5	-	-	-	25,5	32,2	36,6		- / 6		12
	0-5	35,5	39,6	44,9	-	-	-		6 / -	9	
	5-10	31,8	34,5	40,8	19,2	31,9	40,2	o	6 / 6	10	25
	10-30	8,7	11,4	14,7	5,3	6,8	10,0	--	6 / 6	21	26
Cadmium (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	0,96	1,09	1,19	0,57	0,72	1,01	--	6 / 6	10	24
	Oh	0,61	0,77	1,00	-	-	-		6 / -	19	
	0-2	-	-	-	0,43	0,59	0,73		- / 6		18
	2-5	-	-	-	0,41	0,54	0,67		- / 6		18
	0-5	0,51	0,58	0,72	-	-	-		6 / -	15	
	5-10	0,39	0,43	0,49	0,25	0,45	0,57	o	6 / 6	10	26
	10-30	0,08	0,12	0,18	0,07	0,09	0,12	-	6 / 6	29	24
Chrom (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	21,8	26,4	33,5	27,7	40,6	51,4	++	6 / 6	15	28
	Oh	41,3	47,1	51,2	-	-	-		6 / -	9	
	0-2	-	-	-	34,8	44,2	53,4		- / 6		17
	2-5	-	-	-	34,3	43,0	51,7		- / 6		17
	0-5	39,5	43,6	45,4	-	-	-		6 / -	5	
	5-10	28,5	33,2	38,8	23,5	39,2	48,6	+	6 / 6	12	23
	10-30	15,9	19,8	24,9	16,8	21,5	25,4	o	6 / 6	16	15

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	cv (%)				
Kupfer (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	35,1	37,5	44,6	42,5	46,2	49,9	+	6 / 6	9	6
	Oh	52,8	58,9	64,9	-	-	-		6 / -	7	
	0-2	-	-	-	45,8	55,8	62,6		- / 6		11
	2-5	-	-	-	44,6	56,5	63,7		- / 6		13
	0-5	60,4	66,5	72,1	-	-	-		6 / -	7	
	5-10	50,5	55,5	63,6	33,1	53,5	62,8	o	6 / 6	9	23
	10-30	12,0	15,4	19,0	7,2	9,2	14,3	--	6 / 6	20	28
Quecksilber (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	0,33	0,36	0,41	-	-	-		6 / 0	8	
	Oh	0,41	0,48	0,52	-	-	-		6 / -	10	
	0-2	-	-	-	-	-	-		- / 0		
	2-5	-	-	-	-	-	-		- / 0		
	0-5	0,25	0,37	0,45	-	-	-		6 / -	21	
	5-10	0,24	0,34	0,42	-	-	-		6 / 0	23	
	10-30	0,12	0,17	0,28	-	-	-		6 / 0	36	
Nickel (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	8,6	15,8	19,0	15,4	23,3	30,3	++	6 / 6	24	30
	Oh	21,8	24,7	27,1	-	-	-		6 / -	9	
	0-2	-	-	-	16,9	23,0	28,8		- / 6		22
	2-5	-	-	-	16,4	21,5	26,6		- / 6		21
	0-5	20,0	21,1	23,5	-	-	-		6 / -	6	
	5-10	15,1	16,9	19,4	9,8	19,0	24,3	+	6 / 6	9	28
	10-30	6,1	7,3	8,7	6,0	8,1	10,4	+	6 / 6	11	23
Blei (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	229	250	308	256	411	1038	++	6 / 6	12	75
	Oh	354	445	621	-	-	-		6 / -	21	
	0-2	-	-	-	283	356	394		- / 6		12
	2-5	-	-	-	274	360	418		- / 6		16
	0-5	428	483	555	-	-	-		6 / -	9	
	5-10	320	371	434	194	330	407	-	6 / 6	10	25
	10-30	73	102	132	30	49	79	--	6 / 6	22	38
Zink (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	234	262	312	162	186	222	-	6 / 6	10	13
	Oh	238	267	298	-	-	-		6 / -	8	
	0-2	-	-	-	146	190	224		- / 6		16
	2-5	-	-	-	140	186	226		- / 6		18
	0-5	228	256	275	-	-	-		6 / -	8	
	5-10	179	199	225	96	169	213	-	6 / 6	9	26
	10-30	48	62	74	31	38	50	--	6 / 6	18	17
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	926	979	1033	845	917	976	o	2 / 6	8	5
	Oh	1168	1262	1356	-	-	-		2 / -	11	
	0-2	-	-	-	877	974	1076		- / 6		9
	2-5	-	-	-	781	918	1056		- / 6		12
	0-5	1066	1147	1228	-	-	-		2 / -	10	
	5-10	743	775	808	456	818	1047	o	2 / 6	6	25
	10-30	206	242	279	135	188	235	-	2 / 6	21	19

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	cv (%)				
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of L/Of+O h	1818	1826	1834	840	973	1109	--	2 / 6	1	11
	Oh	1392	1424	1456	-	-	-		2 / -	3	
	0-2	-	-	-	606	743	908		- / 6		16
	2-5	-	-	-	523	651	805		- / 6		18
	0-5	883	912	941	-	-	-		2 / -	5	
	5-10	609	623	636	350	545	689	-	2 / 6	3	22
	10-30	4,1	4,3	4,4	3,8	4,1	4,3	--	2 / 6	8	15

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = **o** gleichbleibend

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = **+/-** Zunahme / Abnahme

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = **++/--** starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.17 Duisburg Biegerhof (DUI Bi)

Auswahlkriterium: Emittentennah, Auswirkungen der Akkumulation persistenter Schadstoffe im Ballungsraum Ruhrgebiet: hohe urban-industriell bedingte Schadstoffbelastung durch den Eintrag kontaminierter Stäube

Lage: TK25 Blatt 4606 Düsseldorf-Kaiserswerth, Niederrheinisches Tiefland

Nutzung: Park, Gehölze mit Grünflächen

Bodentyp: Typische Braunerde

Bodeneigenschaften: tiefgründig, kein Stau-/Grundwassereinfluss, basenreicht

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: Hochflutablagerungen (Weichsel-Spätglazial bis Holozän) und kolluviale Ablagerungen des Holozäns (humos) über Terrassenablagerungen (Niederterrassen, Oberpleistozän).

Besonderheiten: Als „Auflage“ wurde der Wurzelfilz der Grünfläche beprobt. Die BDF liegt in einer häufig frequentierten Parkanlage (Naherholungsgebiet im Stadtgebiet).

Belastungssituation: Schwermetallanreicherungen, insbesondere (0-5 cm)
Cd: ca. 4 mg/kg (Spannweite: 3,2 bis 6,2 mg/kg)
Pb: ca. 480 mg/kg (Spannweite: 178 bis 723 mg/kg)
Zn: ca. 570 mg/kg (Spannweite: 368 bis 924 mg/kg)

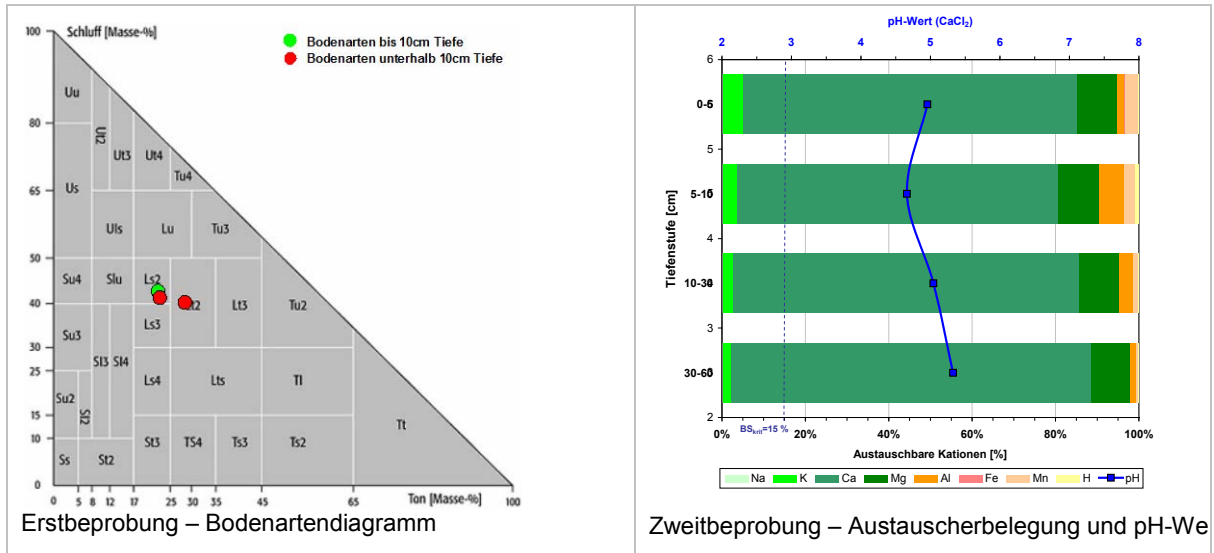
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. C_{org} -Gehalte steigen von Erst- zu Zweituntersuchung deutlich an. Veränderungen wahrscheinlich zurückzuführen auf Standortheterogenitäten zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Damit korrespondieren auch die Veränderungen der Schwermetallgehalte, namentlich von Cd, Pb und Zn.



Blick auf die BDF DUI Bi (© LANUV)



Braunerde aus Hochflutablagerung (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 17: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung DUI Bi

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	L/Of	5,0	5,0	5,1	4,6	4,7	4,8	o	6 / 2	1	3
	0-5	4,6	4,7	4,9	4,6	4,9	5,1	o	6 / 6	3	4
	5-10	4,7	4,8	4,9	4,5	4,6	4,9	o	6 / 6	2	3
	10-30	5,0	5,2	5,4	4,6	5,0	5,2	o	6 / 6	3	5
Basensättigung (%)	L/Of	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	0-5	87,1	89,3	91,4	93,0	94,5	96,0	o	2 / 6	3	1
	5-10	88,7	89,4	90,1	87,9	90,1	93,1	o	2 / 6	1	2
	10-30	88,2	91,4	94,5	90,9	95,2	97,2	o	2 / 6	5	3
Humusaufgabe (g/m ²)	L/Of	15022	19807	27956	1768	2185	2602	--	5 / 2	28	27
	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	L/Of	9,43	16,45	32,72	28,20	31,25	34,30	++	6 / 2	59	14
	0-5	1,39	4,44	6,39	6,07	8,82	15,50	++	6 / 6	50	41
	5-10	1,66	2,05	3,43	1,67	2,64	4,46	+	6 / 6	33	47
	10-30	0,94	1,07	1,26	0,64	0,90	1,13	-	6 / 6	10	21
N _t (%)	L/Of	0,78	1,07	1,68	1,15	1,15	1,15	o	6 / 2	36	0
	0-5	0,11	0,38	0,56	0,52	0,64	0,85	++	6 / 6	52	18
	5-10	0,14	0,16	0,24	0,11	0,17	0,26	o	6 / 6	24	35
	10-30	0,09	0,10	0,11	0,06	0,06	0,07	--	6 / 6	7	11
C/N-Verhältnis	L/Of	12	14	19	25	27	30	++	6 / 2	21	13
	0-5	11	12	13	11	13	18	+	6 / 6	6	22
	5-10	12	13	14	13	15	18	+	6 / 6	8	14
	10-30	10	11	12	11	15	19	++	6 / 6	7	20
Arsen (mg/kg)	L/Of	12,7	13,7	14,6	7,2	7,8	8,4	--	6 / 2	6	11
	0-5	14,5	18,4	20,8	12,9	14,3	15,7	-	6 / 6	12	7
	5-10	14,7	16,5	19,7	13,6	15,7	18,1	o	6 / 6	10	11
	10-30	11,7	12,7	13,2	9,3	10,3	11,8	-	6 / 6	4	9

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Cadmium (mg/kg)	L/Of	4,22	6,61	10,82	5,65	5,79	5,93	-	6 / 2	46	3
	0-5	3,21	3,85	4,29	3,95	4,78	6,22	+	6 / 6	14	20
	5-10	3,01	3,65	4,00	3,36	3,72	4,07	o	6 / 6	12	8
	10-30	1,99	2,50	2,98	1,25	1,91	2,70	-	6 / 6	19	33
Chrom (mg/kg)	L/Of	42,7	46,1	50,4	20,5	22,1	23,6	--	6 / 2	6	10
	0-5	42,5	50,1	56,1	27,6	39,3	50,6	-	6 / 6	10	20
	5-10	43,0	44,0	45,9	23,4	35,2	40,6	-	6 / 6	2	17
	10-30	39,5	41,4	44,3	21,0	32,2	42,7	-	6 / 6	4	25
Kupfer (mg/kg)	L/Of	29,7	44,3	71,4	36,1	38,0	40,0	-	6 / 2	47	7
	0-5	29,1	39,3	43,9	31,4	40,9	60,3	o	6 / 6	14	34
	5-10	30,9	34,5	45,3	29,7	36,4	45,0	o	6 / 6	16	17
	10-30	22,0	23,9	26,0	18,5	21,5	24,6	o	6 / 6	7	13
Quecksilber (mg/kg)	L/Of	0,21	0,29	0,49	-	-	-	-	6 / 0	41	
	0-5	0,12	0,19	0,32	-	-	-	-	6 / 0	35	
	5-10	0,18	0,22	0,35	-	-	-	-	6 / 0	29	
	10-30	0,12	0,15	0,18	-	-	-	-	6 / 0	18	
Nickel (mg/kg)	L/Of	25,3	30,2	33,6	16,0	16,9	17,8	--	6 / 2	9	7
	0-5	24,5	29,3	35,2	24,3	28,2	33,8	o	6 / 6	12	13
	5-10	24,1	26,4	29,3	23,9	25,1	28,7	o	6 / 6	7	7
	10-30	23,4	27,5	29,8	25,3	28,5	34,1	o	6 / 6	8	12
Blei (mg/kg)	L/Of	302	552	988	428	556	684	o	6 / 2	59	33
	0-5	178	493	643	285	460	723	o	6 / 6	37	41
	5-10	170	255	511	158	283	500	+	6 / 6	50	53
	10-30	78	96	116	42	63	88	--	6 / 6	16	28
Zink (mg/kg)	L/Of	612	921	1519	840	870	900	o	6 / 2	44	5
	0-5	368	524	610	495	624	924	+	6 / 6	21	29
	5-10	360	432	508	354	419	485	o	6 / 6	12	13
	10-30	284	333	386	179	256	325	-	6 / 6	15	23
P _{ges.} (mg/kg)	L/Of	1304	1410	1516	752	804	856	--	2 / 2	11	9
	0-5	714	815	916	752	844	966	o	2 / 6	18	10
	5-10	742	828	914	448	625	853	-	2 / 6	15	28
	10-30	569	584	599	398	495	540	-	2 / 6	4	11
S _{ges.} (mg/kg)	L/Of	2258	2406	2554	1090	1099	1109	--	2 / 2	9	1
	0-5	251	280	309	619	770	1072	++	2 / 6	15	21
	5-10	305	386	467	200	271	378	-	2 / 6	30	30
	10-30	210	215	220	105	128	145	--	2 / 6	3	13

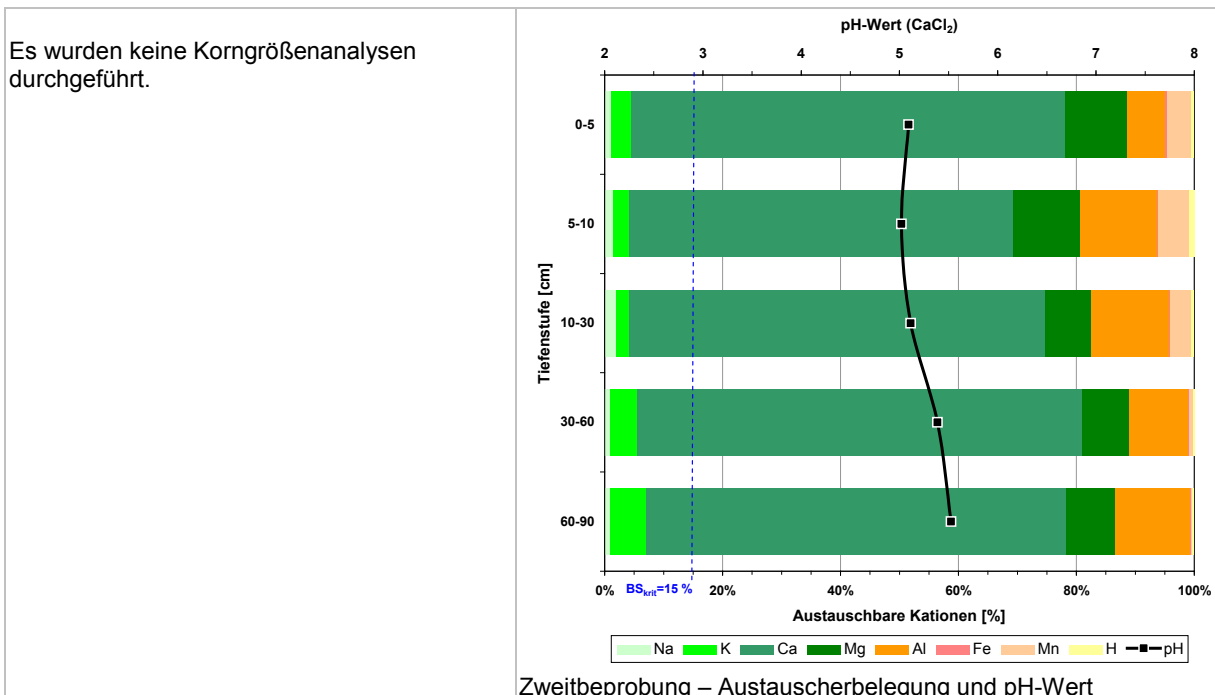
* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.18 Kleve außerhalb Wald (KLE a)

Auswahlkriterium:	Emittentenfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung auf einer Referenzfläche zur benachbarten Waldfläche KLE Tb (Kriterien: ähnliche Bodenausgangssubstrate und Exposition)
Lage:	TK25 Blatt 4203 Kalkar, Niederrheinisches Tiefland
Nutzung:	Grünland, Streuobstwiese
Bodentyp:	Pseudogley-Braunerden, aus Hochflutablagerung (Holozän)
Bodeneigenschaften:	tiefgründig, schwache Staunässe, kein Grundwassereinfluss, basenreich im Vergleich zu KLE Tb
Ausgangssubstrate der Bodenbildung	Sehr wahrscheinlich gleiche Ausgangssubstrate wie auf BDF KLE Tb: Löss (Jungpleistozän, teils Sandlöss (Weichsel-Kaltzeit über Schmelzwasserablagerungen (Saale-Kaltzeit
Besonderheiten:	Direkt benachbart zu KLE Tb und zu einer Level II-Fläche
Belastungssituation:	Schwermetallgehalte bis 30 cm Tiefe auf sehr niedrigem Niveau, keine nennenswerten Belastungen.
Zeitliche Entwicklung:	Kein eindeutiger Trend erkennbar. Schwermetallgehalte, Säureparameter und Nährstoffversorgung nahezu unverändert.



Tab. A 18: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung KLE a

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	0-5	4,5	4,6	4,7	4,7	5,0	5,6	+	5 / 5	2	7
	5-10	4,6	4,7	4,9	4,6	4,9	5,5	o	5 / 5	2	7
	10-30	4,9	5,0	5,3	4,7	4,9	5,6	o	5 / 5	3	8
Basensättigung (%)	0-5	77,1	85,1	89,7	82,1	87,5	92,8	o	5 / 5	6	6
	5-10	81,5	84,2	87,4	73,9	80,6	84,1	o	5 / 5	3	5
	10-30	89,1	92,1	95,5	77,4	82,5	87,5	-	5 / 5	3	4
Humusaufgabe (g/m ²)	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	0-5	3,0	3,4	3,8	-	-	-	-	5 / 0	11	
	5-10	2,2	2,3	2,4	-	-	-	-	5 / 0	4	
	10-30	1,3	1,4	1,5	-	-	-	-	5 / 0	6	
N _t (%)	0-5	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	-	5 / 5	13	6
	5-10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	o	5 / 5	2	4
	10-30	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	++	5 / 5	10	4
C/N-Verhältnis	0-5	10	11	11	-	-	-	-	5 / 0	2	
	5-10	10	10	11	-	-	-	-	5 / 0	3	
	10-30	11	12	12	-	-	-	-	5 / 0	5	
Arsen (mg/kg)	0-5	2,6	3,6	4,4	4,1	4,3	4,4	+	5 / 5	23	3
	5-10	2,6	4,2	4,9	4,1	4,4	4,5	o	5 / 5	22	4
	10-30	2,1	3,3	3,9	4,3	4,5	4,7	++	5 / 5	22	4
Cadmium (mg/kg)	0-5	0,35	0,44	0,50	0,41	0,44	0,48	o	5 / 5	13	6
	5-10	0,42	0,46	0,50	0,41	0,44	0,48	o	5 / 5	7	8
	10-30	0,34	0,40	0,48	0,39	0,45	0,50	+	5 / 5	15	9
Chrom (mg/kg)	0-5	24,0	26,5	30,5	23,3	24,6	25,6	o	5 / 5	10	4
	5-10	23,7	28,4	30,9	23,4	25,1	26,0	-	5 / 5	11	5
	10-30	17,0	19,8	22,9	23,1	24,5	27,2	+	5 / 5	13	7
Kupfer (mg/kg)	0-5	7,0	8,8	9,8	8,4	9,8	11,4	+	5 / 5	13	13
	5-10	7,5	10,0	13,3	8,6	9,9	11,3	o	5 / 5	22	12
	10-30	6,6	9,0	11,0	8,7	10,8	12,2	+	5 / 5	20	14
Quecksilber (mg/kg)	0-5	0,07	0,10	0,11	-	-	-	-	5 / 0	20	
	5-10	0,07	0,11	0,15	-	-	-	-	5 / 0	30	
	10-30	0,07	0,10	0,14	-	-	-	-	5 / 0	28	
Nickel (mg/kg)	0-5	7,3	8,4	9,7	5,6	6,3	7,2	-	5 / 5	10	10
	5-10	7,6	8,8	9,7	5,8	6,3	7,0	-	5 / 5	11	8
	10-30	6,7	9,0	11,5	6,1	6,5	7,2	-	5 / 5	23	7
Blei (mg/kg)	0-5	38	41	51	34	39	43	o	5 / 5	13	9
	5-10	38	40	47	32	41	61	o	5 / 5	10	27
	10-30	33	36	41	33	38	46	o	5 / 5	8	13
Zink (mg/kg)	0-5	57	61	70	46	58	77	o	5 / 5	9	20
	5-10	52	59	65	46	56	70	o	5 / 5	10	16
	10-30	43	48	57	46	56	74	+	5 / 5	12	19
P _{ges.} (mg/kg)	0-5	551	639	793	445	522	612	-	5 / 5	16	12
	5-10	498	568	687	445	506	598	-	5 / 5	13	12
	10-30	412	463	572	413	493	617	o	5 / 5	15	16
S _{ges.} (mg/kg)	0-5	400	444	493	261	285	309	--	5 / 5	9	6
	5-10	304	320	335	257	266	288	-	5 / 5	4	5
	10-30	170	184	191	199	209	227	+	5 / 5	5	5

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.19 Lütkenberg (LÜK)

Auswahlkriterium: Referenzfläche fernab von Emittenten, keine Belastungen bekannt (Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung)

Lage: TK25 Blatt 3920 Extertal, Ostwestfalen

Nutzung: Grünland (Nutzung vor 1985 als Ackerfläche, zwischen 1985-1995 Weidenutzung)

Bodentyp: überwiegend Braunerden, teils Parabraunerden, Pseudogley-Braunerden, Kolluvisole

Bodeneigenschaften: tiefgründig, kein Stau-/Grundwassereinfluss, basenreicht

Ausgangssubstrate der Bodenbildung - Fließerde (Hauptlage, Spätglazial), kolluviale Ablagerungen (humos, Holozän)
- über Fließerde (Mittellage, überwiegend Löss, Hochglazial)
- über Fließerde (Basislage, Frühglazial)
- über Tonstein, Schluffstein, Tonmergelstein (Steinmergelkeuper)

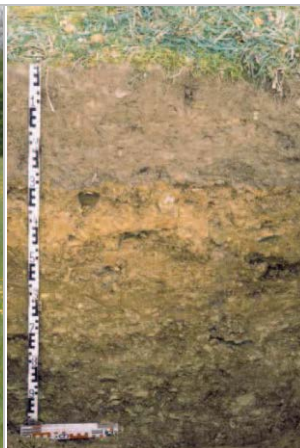
Besonderheiten: keine

Belastungssituation: Keine Schwermetallanreicherungen festzustellen, Belastungsniveau sehr niedrig.

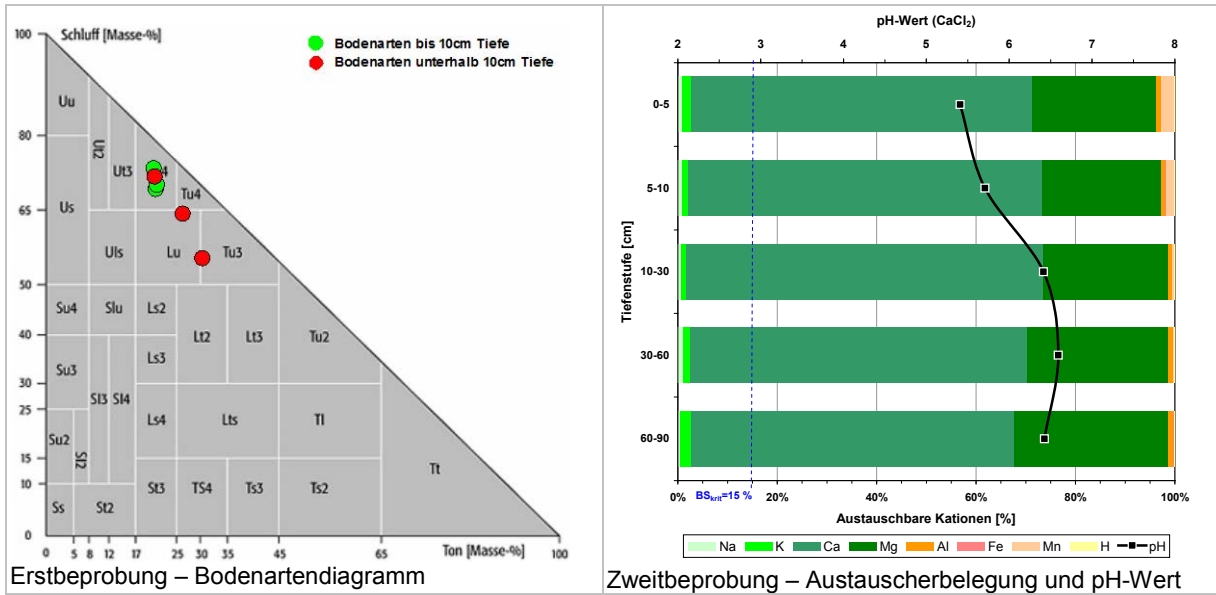
Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. Oberböden bis 5 cm Tiefe mäßig humos mit mittleren C_{org} -Gehalten von 2,6%. Basensättigung im gesamten Profil extrem hoch. in den steigen von Erst- zu Zweituntersuchung deutlich an. Veränderungen wahrscheinlich zurückzuführen auf Standortheterogenitäten zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Damit korrespondieren auch die Veränderungen der Schwermetallgehalte, namentlich von Cd, Pb und Zn.



Blick auf die BDF (© LANUV)



Bodenprofil einer Braunerde (© Geologischer Dienst NRW)



Tab. A 19: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung LÜK

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Basensättigung pH (CaCl ₂)	0-5	5,3	5,7	6,1	5,3	5,4	5,6	o	6 / 6	6	3
	5-10	5,4	5,8	6,0	5,3	5,6	6,1	o	6 / 6	4	5
	10-30	5,7	6,2	6,5	6,0	6,3	6,7	o	6 / 6	5	4
Basensättigung (%)	0-5	97,0	97,1	97,1	95,0	96,2	97,2	o	2 / 6	0	1
	5-10	97,5	97,8	98,0	96,0	97,1	98,1	o	2 / 6	0	1
	10-30	98,4	98,5	98,5	98,2	98,6	98,9	o	2 / 6	0	0
Humusauflage (g/m ²)	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	0-5	2,6	2,6	2,6	-	-	-	-	2 / 0	1	
	5-10	1,7	1,7	1,8	-	-	-	-	2 / 0	4	
	10-30	1,2	1,3	1,3	-	-	-	-	2 / 0	4	
N _t (%)	0-5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	o	2 / 6	11	7
	5-10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	o	2 / 6	11	7
	10-30	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	o	2 / 6	14	8
C/N-Verhältnis	0-5	10	10	11	-	-	-	-	2 / 0	10	
	5-10	8	9	10	-	-	-	-	2 / 0	14	
	10-30	8	9	10	-	-	-	-	2 / 0	17	
Arsen (mg/kg)	0-5	2,6	4,0	6,3	4,3	4,6	4,9	+	6 / 6	38	5
	5-10	2,8	4,3	6,6	4,7	5,0	5,2	+	6 / 6	30	4
	10-30	3,2	4,5	5,1	4,7	5,0	5,1	+	6 / 6	18	3
Cadmium (mg/kg)	0-5	0,27	0,34	0,39	0,23	0,31	0,38	o	6 / 6	14	19
	5-10	0,31	0,35	0,38	0,23	0,30	0,36	-	6 / 6	7	16
	10-30	0,33	0,37	0,41	0,26	0,29	0,34	-	6 / 6	8	12
Chrom (mg/kg)	0-5	23,0	25,4	28,3	22,5	23,7	25,6	o	6 / 6	9	5
	5-10	23,3	26,7	32,0	24,0	25,5	26,9	o	6 / 6	13	5
	10-30	22,2	25,3	29,5	23,8	25,4	26,4	o	6 / 6	12	4

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
Kupfer (mg/kg)	0-5	8,9	9,9	10,5	8,6	9,7	10,5	o	6 / 6	6	8
	5-10	9,2	10,0	11,1	9,0	10,0	10,8	o	6 / 6	8	8
	10-30	8,9	9,8	10,5	8,7	9,8	10,5	o	6 / 6	7	7
Quecksilber (mg/kg)	0-5	0,05	0,08	0,12	-	-	-		6 / 0	34	
	5-10	0,06	0,07	0,09	-	-	-		6 / 0	17	
	10-30	0,07	0,08	0,09	-	-	-		6 / 0	10	
Nickel (mg/kg)	0-5	14,8	16,2	18,0	10,8	11,8	13,2	-	6 / 6	8	8
	5-10	15,0	16,0	17,4	11,6	12,6	13,9	-	6 / 6	6	8
	10-30	14,9	16,0	16,8	11,7	12,7	14,0	-	6 / 6	4	8
Blei (mg/kg)	0-5	19	22	24	16	18	20	-	6 / 6	7	8
	5-10	20	22	23	17	19	21	-	6 / 6	6	7
	10-30	20	22	26	17	19	20	-	6 / 6	10	7
Zink (mg/kg)	0-5	51	54	59	44	47	51	-	6 / 6	6	5
	5-10	52	56	60	45	49	53	-	6 / 6	7	6
	10-30	51	55	61	45	48	51	-	6 / 6	8	5
P _{ges.} (mg/kg)	0-5	556	588	641	488	529	569	-	6 / 6	6	6
	5-10	478	539	588	440	476	518	-	6 / 6	8	7
	10-30	465	511	561	395	431	464	-	6 / 6	10	7
S _{ges.} (mg/kg)	0-5	354	379	426	296	329	380	-	6 / 6	7	9
	5-10	274	319	399	241	265	305	-	6 / 6	15	9
	10-30	213	264	331	203	217	265	-	6 / 6	17	11

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung \leq |10 %| = o gleichbleibend
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |10-30%| = +/- Zunahme / Abnahme
 Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $>$ |30 %| = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.20 Lammersdorf außerhalb Wald (LAM a)

Auswahlkriterium: Emittententfern, Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung auf einer Referenzfläche zu den benachbarten Waldflächen LAM Fi und LAM Bu

Lage: TK25 Blatt 5303 Roetgen, Hohes Venn

Nutzung: Grünland, Weide

Bodentyp: Braunerden, Pseudogleye und Übergangstypen

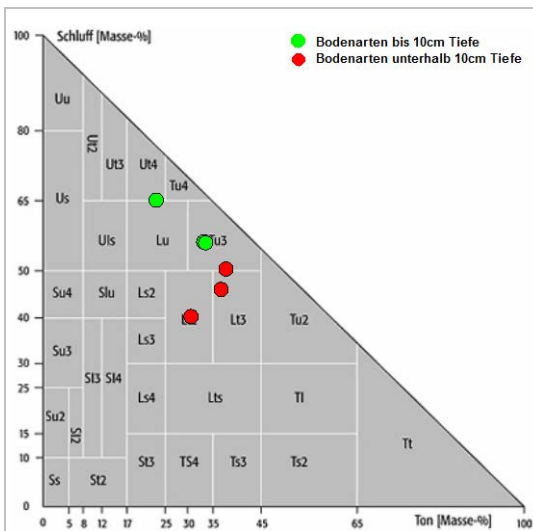
Bodeneigenschaften: tiefgründig, lokal Stau- und Hangstaunässe, verstärkt in morphologischen Mulden, basenreich

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: Solifluktslehme mit hohem Lösslehmanteil
 - über Umlagerungsbildungen
 - über Festgestein (devonische Phyllite und Quarzite)

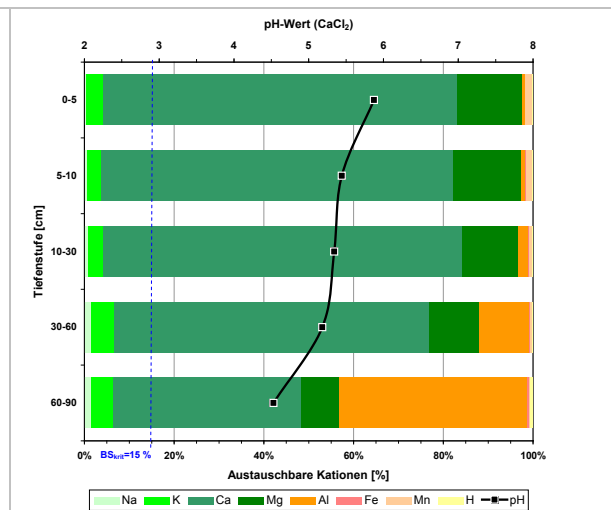
Besonderheiten: Direkt benachbart zu einer Level II-Fläche

Belastungssituation: Erhöhte Cadmiumgehalte:
 0-5 cm: ca. 1,8 mg/kg (Spannweite: 1,4 bis 2,4 mg/kg)
 5-10 cm: ca. 1,9 mg/kg (Spannweite: 1,4 bis 2,2 mg/kg)
 10-30 cm: ca. 1,2 mg/kg (Spannweite: 0,8 bis 2,0 mg/kg)

Zeitliche Entwicklung: Kein eindeutiger Trend erkennbar. Scheinbar leichte Abnahme der Schwermetallgehalte ist auf Standortheterogenitäten zurückzuführen. Basensättigung fällt erst in den Tiefenstufen ab 60 cm Tiefe deutlich ab, dort durch die basenarme Verwitterungsprodukte der Ausgangsgesteine bedingt.



Erstprobung – Bodenartendiagramm



Zweitprobung – Austauscherbelegung und pH-Wert

Tab. A 20: Kennwerte der Erst- und Zweitbeprobung LAM a

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	0-5	5,1	5,3	5,5	5,4	5,8	6,1	++	5 / 5	3	5
	5-10	5,1	5,2	5,4	5,2	5,4	5,6	o	5 / 5	2	3
	10-30	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,5	o	5 / 5	2	1
Basensättigung (%)	0-5	98,3	98,4	98,4	97,0	97,6	98,1	o	2 / 5	0	1
	5-10	97,9	98,0	98,0	96,7	97,3	97,6	o	2 / 5	0	0
	10-30	94,3	94,9	95,5	94,3	96,4	98,4	o	2 / 5	1	2
Humusaufgabe (g/m ²)	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
C _{org} (%)	0-5	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	1 / 0	0	
	5-10	4,5	4,5	4,5	-	-	-	-	1 / 0	0	
	10-30	2,1	2,1	2,1	-	-	-	-	1 / 0	0	
N _t (%)	0-5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	+	1 / 5	0	12
	5-10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	++	1 / 5	0	8
	10-30	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	++	1 / 5	0	10
C/N-Verhältnis	0-5	7	7	7	-	-	-	-	1 / 0	0	
	5-10	12	12	12	-	-	-	-	1 / 0	0	
	10-30	11	11	11	-	-	-	-	1 / 0	0	
Arsen (mg/kg)	0-5	7,8	12,3	14,8	10,5	13,1	14,7	o	5 / 5	23	12
	5-10	11,2	13,6	15,0	14,0	15,5	18,9	+	5 / 5	11	13
	10-30	7,4	11,4	15,0	10,6	14,4	19,5	+	5 / 5	25	22
Cadmium (mg/kg)	0-5	1,34	1,63	2,15	1,42	1,82	2,35	+	5 / 5	19	21
	5-10	1,47	1,68	2,24	1,43	1,94	2,23	+	5 / 5	19	16
	10-30	0,31	0,64	1,18	0,79	1,23	2,02	++	5 / 5	53	38
Chrom (mg/kg)	0-5	37,7	59,4	115,2	37,5	40,6	43,6	--	5 / 5	53	6
	5-10	34,9	38,3	47,2	40,3	42,4	44,3	+	5 / 5	14	5
	10-30	16,8	25,4	30,6	25,5	32,7	40,8	+	5 / 5	23	19
Kupfer (mg/kg)	0-5	15,5	17,8	20,0	18,5	20,6	21,7	+	5 / 5	10	6
	5-10	12,5	15,0	17,7	15,1	17,1	19,3	+	5 / 5	13	12
	10-30	5,6	10,7	14,8	7,7	12,5	15,2	+	5 / 5	33	26
Quecksilber (mg/kg)	0-5	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0 / 0		
Nickel (mg/kg)	0-5	5,7	13,0	36,9	4,9	5,7	7,7	--	5 / 5	103	21
	5-10	4,4	6,5	7,9	4,7	5,4	7,7	-	5 / 5	23	23
	10-30	3,4	8,5	12,6	3,6	5,0	7,8	--	5 / 5	45	33
Blei (mg/kg)	0-5	75	86	96	61	67	71	-	5 / 5	10	6
	5-10	78	88	95	65	73	82	-	5 / 5	7	10
	10-30	23	35	45	38	50	71	++	5 / 5	28	27
Zink (mg/kg)	0-5	137	166	185	131	148	169	-	5 / 5	13	9
	5-10	137	146	158	138	147	159	o	5 / 5	6	6
	10-30	28	79	104	65	98	140	+	5 / 5	38	29
P _{ges.} (mg/kg)	0-5	1201	1564	1926	1150	1432	1680	o	2 / 5	33	15
	5-10	1047	1183	1319	1020	1228	1550	o	2 / 5	16	17
	10-30	315	365	416	352	682	1090	++	2 / 5	20	40
S _{ges.} (mg/kg)	0-5	824	1178	1532	633	790	892	--	2 / 5	43	13
	5-10	574	722	869	502	543	623	-	2 / 5	29	9
	10-30	245	249	254	255	345	517	++	2 / 5	3	29

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

7.5.21 Haard außerhalb Wald (HAA a)

Auswahlkriterium: Emittentennah, insbesondere Prozesse und Auswirkungen der Bodenversauerung auf einer Referenzfläche zur benachbarten Waldfläche HAA im Ballungsraum Ruhrgebiet

Lage: TK25 Blatt 4309 Recklinghausen, Ruhrgebiet

Nutzung: Extensives Grünland (ehem. Acker)

Bodentyp: Braunerde, schwach pseudovergleyt (Ursprüngliche Podsol-Horizonte sind durch Bodenbearbeitung bzw. Pflügen in einen Ap-Horizont eingearbeitet worden)

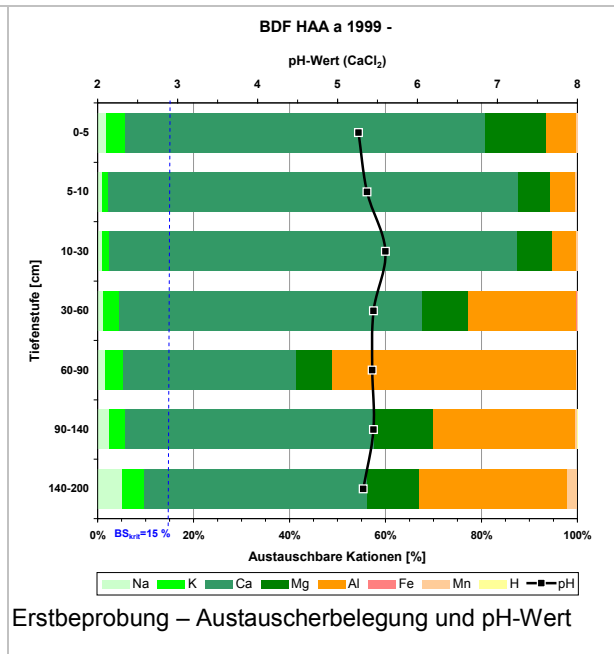
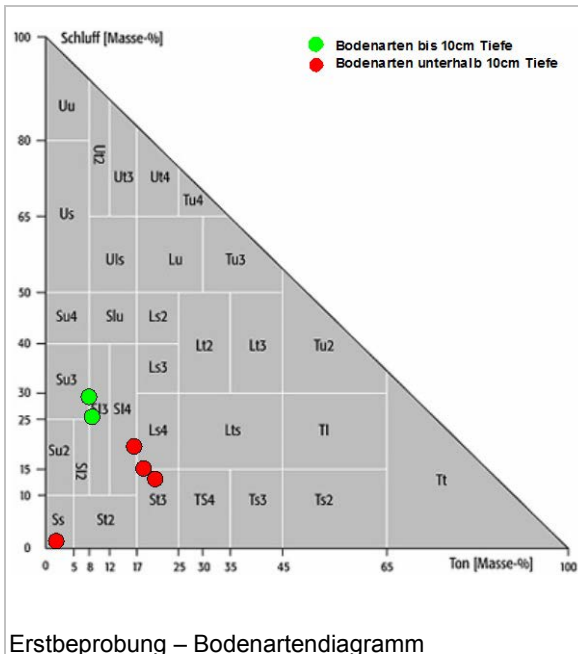
Bodeneigenschaften: tiefgründig, schwacher Staunässe-/Grundwassereinfluss, basenreich

Ausgangssubstrate der Bodenbildung: Flugdecksande über periglazialen Fließerden (teils aufgearbeitete Grundmoränenreste und tertiäre „Halturner Sande“; Untergrund wird aus Sanden der Oberkreide aufgebaut.

Besonderheiten: Fläche wurde im Jahr 2006 eingestellt.

Belastungssituation: Keine nennenswerten Schwermetallanreicherungen, sehr niedriges Belastungsniveau.

Zeitliche Entwicklung: Keine Trenduntersuchung möglich, weil die Flächenuntersuchung eingestellt wurde.



Tab. A 21: Kennwerte der Erstbeprobung HAA a

Parameter	Tiefenstufe	Erstbeprobung (EB)			Zweitbeprobung (ZB)			Tendenz*	N (EB / ZB)	EB cv (%)	ZB cv (%)
		MIN	Mittel	MAX	MIN	Mittel	MAX				
pH (CaCl ₂)	0-5	4,9	5,2	5,5	-	-	-		5 /	4	
	5-10	5,0	5,3	5,6	-	-	-		5 /	5	
	10-30	5,3	5,6	5,8	-	-	-		5 /	3	
Basensättigung (%)	0-5	93,1	93,5	93,8	-	-	-		2 /	1	
	5-10	94,0	94,3	94,6	-	-	-		2 /	0	
	10-30	93,7	94,7	95,6	-	-	-		2 /	1	
Humusaufgabe (g/m ²)	0-5	-	-	-	-	-	-		0 /		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 /		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 /		
C _{org} (%)	0-5	3,07	3,07	3,07	-	-	-		1 /	0	
	5-10	3,23	3,23	3,23	-	-	-		1 /	0	
	10-30	2,84	2,84	2,84	-	-	-		1 /	0	
N _t (%)	0-5	0,23	0,23	0,23	-	-	-		1 /	0	
	5-10	0,18	0,18	0,18	-	-	-		1 /	0	
	10-30	0,15	0,15	0,15	-	-	-		1 /	0	
C/N-Verhältnis	0-5	13	13	13	-	-	-		1 /	0	
	5-10	18	18	18	-	-	-		1 /	0	
	10-30	19	19	19	-	-	-		1 /	0	
Arsen (mg/kg)	0-5	3,0	4,7	6,5	-	-	-		5 /	34	
	5-10	2,5	5,4	7,4	-	-	-		5 /	43	
	10-30	2,9	5,3	7,3	-	-	-		5 /	36	
Cadmium (mg/kg)	0-5	0,23	0,31	0,42	-	-	-		5 /	30	
	5-10	0,37	0,42	0,45	-	-	-		5 /	7	
	10-30	0,34	0,41	0,49	-	-	-		5 /	14	
Chrom (mg/kg)	0-5	18,4	21,8	23,3	-	-	-		5 /	9	
	5-10	9,7	14,2	17,6	-	-	-		5 /	21	
	10-30	12,4	14,3	16,0	-	-	-		5 /	10	
Kupfer (mg/kg)	0-5	3,4	4,3	5,2	-	-	-		5 /	16	
	5-10	4,0	5,1	6,1	-	-	-		5 /	15	
	10-30	4,2	5,0	5,7	-	-	-		5 /	11	
Quecksilber (mg/kg)	0-5	-	-	-	-	-	-		0 /		
	5-10	-	-	-	-	-	-		0 /		
	10-30	-	-	-	-	-	-		0 /		
Nickel (mg/kg)	0-5	1,7	2,4	3,3	-	-	-		5 /	28	
	5-10	2,0	2,7	3,3	-	-	-		5 /	20	
	10-30	1,9	2,9	3,4	-	-	-		5 /	22	
Blei (mg/kg)	0-5	20	25	31	-	-	-		5 /	20	
	5-10	27	30	34	-	-	-		5 /	10	
	10-30	26	30	34	-	-	-		5 /	14	
Zink (mg/kg)	0-5	30	38	48	-	-	-		5 /	24	
	5-10	42	48	53	-	-	-		5 /	8	
	10-30	40	45	51	-	-	-		5 /	11	
P _{ges.} (mg/kg)	0-5	421	539	658	-	-	-		2 /	31	
	5-10	381	480	579	-	-	-		2 /	29	
	10-30	373	484	595	-	-	-		2 /	32	
S _{ges.} (mg/kg)	0-5	316	350	383	-	-	-		2 /	13	
	5-10	218	242	266	-	-	-		2 /	14	
	10-30	207	233	260	-	-	-		2 /	16	

* Erläuterungen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $\leq |10\%|$ = o gleichbleibend
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |10-30\%|$ = +/- Zunahme / Abnahme
Differenz der Mittelwerte der Erst- zur Zweitbeprobung $> |30\%|$ = ++/-- starke Zunahme / Abnahme

Die Ergebnisse der Elementaranalysen der Ersterhebung beziehen sich auf bei 105 Grad getrockneten Boden, die der Zweiterhebung beziehen sich auf lufttrockenes Material.

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de

