

Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins

Herausgeber

Projekterstellung und Projektauswertung wie die Erhebung der Bodendaten erfolgte im Auftrag des Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (MLUR), Dr. Dorit Kuhnt, Dr. Sven Christensen, Christoph Adam, Burkhard Hielscher, Jörn Fröhlich

durch das

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR)
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek
Tel. 04347-704-0
Fax. 04347-704-502

© Dezember 2011

Mitwirkende

ARGUMENT GmbH, Kiel:

Dr. Ernst-Walter Reiche	(Konzeption, Auswertung)
Dr. Uwe Schleuß	(Konzeption, Auswertung)
Dr. Ismo Bruhm	(Konzeption, Auswertung, Berichtsvorfassung)

Die Datenauswertung und die Vorfassung dieses Berichtes wurde durch die ARGUMENT GmbH erstellt ('Komprimierter Endbericht', 15. Januar 2010). Für die statistischen Auswertungen wurde das Programm Statgraphics Centurion XV Version 15.2.05 verwendet.

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), Flintbek ehemals: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU), Flintbek vormals: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein (GLA), Kiel:

Dr. Sven Christensen	(Konzeption, Fachbegleitung)
Dr. Eckhard Cordsen	(Konzeption, Auswertung)
Hans-Kurt Siem	(Konzeption, Bodenkundliche Kartierung & Probennahme, Auswertung)
Thomas Schröder	(Probennahme)
Dr. Dieter Elwert	(Bodenkundliche Kartierung & Probennahme)
Dr. Marek Filipinski	(Bodenkundliche Kartierung & Probennahme)
Dr. Peter Janetzko	(Bodenkundliche Kartierung & Probennahme)
Dr. Samad Scharafat	(Bodenkundliche Kartierung & Probennahme)
Werner Mews	(Probennahme)
Hans-Peter Henningsen	(Probennahme)
Thomas Riedel	(Datenaufbereitung)
Marion Jagusch	(Datenaufbereitung)
Matthias Gieske	(Auswertung, Berichtskorrektur)
Bernd Burbaum	(Berichtskorrektur)
Dr. Andreas Zeddel	(Auswertung, Bericht)

sowie eine Vielzahl von Kolleginnen und Kollegen, ehemals GLA/LANU, heute des Landeslabores Schleswig-Holstein, insbesondere Herr Thorsten Nack.

Ansprechpartner

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
Dr. Eckhard Cordsen, Dezernat Boden, Adresse siehe oben
Tel.: 04347-704-550, e-mail: eckhard.cordsen@llur.landsh.de

Gliederung

1	Vorgehensweise zur Ermittlung der Hintergrundgehalte	
1.1	Einleitung und Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Das Polygonkonzept – ein Konzept zur Ermittlung ländlicher Hintergrundwerte	2
1.4	Kenngößen des Bodenbelastungskatasters (BBKSH).....	5
1.5	Extraktions- und Analyseverfahren – Auswahl geeigneter Datensätze	5
1.6	Statistische Auswertung	6
1.7	Hintergrundgehalte und Hintergrundwerte – Aufbau der Auswertetabellen.....	8
1.8	Darstellung der statistischen Informationen in Karten.....	9
1.9	Hinweise zur Bewertung.....	10
2	Stoffgehalte und Stoffeinträge	
2.1	Natürliche (geogene) Metallgehalte im Bodenausgangsgestein	11
2.2	Metallhaltige Stoffeinträge	12
2.3	Organische Stoffeinträge.....	13
2.4	Stoffeinträge und pH-Wert Verteilung.....	14
3	Metalle - Auswertungsergebnisse des Polygonkonzeptes	
3.1	Arsen (As).....	15
3.2	Blei (Pb)	19
3.3	Cadmium (Cd)	23
3.4	Chrom (Cr).....	27
3.5	Kupfer (Cu).....	31
3.6	Nickel (Ni)	35
3.7	Quecksilber (Hg).....	39
3.8	Zink (Zn).....	43
4	Organika – Auswertungsergebnisse des Polygonkonzeptes	
4.1	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	47
4.2	Benzo(a)pyren	51
4.3	Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆) nach Ballschmiter	55
4.4	Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF)	59
5	Zusammenfassung und Gesamtbeurteilung	64
6	Literatur	68
Anlagen		
Anlage 1	– Bodenübersichtskarte BÜK 500 (STREMME 1981).....	70
Anlage 1b	– Karte der Bodenklassen (1:500.000)	71
Anlage 2	– Bodenbedeckungs- und Landnutzungskarte CORINE 2000 (verändert).....	71
Anlage 3	– Tendenzielle Verbreitung der Auswertungsklassen (AK).....	72
Anlage 4	– Auflistung der Summenparameter (16-EPA-PAK, PCB ₆ , PCDD/PCDF mit I-TEF).....	74
Anlage 5	– Definitionen nach dem LABO-Bericht Hintergrundwerte (2003) - Textauszüge.....	75
Anlage 6	– Zusammenstellung der Bewertungshinweise.....	75

Tabellen:

Tab. 1.3.1: Ableitung der sechs Bodenklassen (BK) aus der Bodenübersichtskarte (BÜK 500)	2
Tab. 1.3.2: Auswertungsklassen (AK).	4
Tab. 2.1.1: Mediane der natürlichen Metallgehalte norddeutscher Böden, differenziert nach Bodenarten	11
Tab. 2.1.2: Maximale natürliche Metallgehalte norddeutscher Böden, differenziert nach Bodenarten	11
Tab. 2.2.1: Mittlere theoretische Schwermetalleinträge durch Phoshat-Düngemittel	12
Tab. 2.2.2: Gesamtdeposition für Metalle an der Station Bornhöved	13
Tab. 2.2.3: Bundesweite Gesamtdeposition für Metalle im ländlichen Raum	13
Tab. 2.3.1: Organika in Düngemitteln	14
Tab. 2.3.2: Bundesweite Gesamtdeposition für Organika im ländlichen Raum	14
Tab. 3.1.1: Hintergrundwerte Arsen (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	16
Tab. 3.1.2: Vorsorge-Hilfswerte für Arsen, Anzahl der Überschreitungen	18
Tab. 3.2.1: Hintergrundwerte Blei (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	20
Tab. 3.2.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Blei, Anzahl der Überschreitungen	22
Tab. 3.3.1: Hintergrundwerte Cadmium (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	24
Tab. 3.3.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Cadmium, Anzahl der Überschreitungen	26
Tab. 3.4.1: Hintergrundwerte Chrom (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	28
Tab. 3.4.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Chrom, Anzahl der Überschreitungen	30
Tab. 3.5.1: Hintergrundwerte Kupfer (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	32
Tab. 3.5.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Kupfer, Anzahl der Überschreitungen	34
Tab. 3.6.1: Hintergrundwerte Nickel (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	36
Tab. 3.6.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Nickel, Anzahl der Überschreitungen	38
Tab. 3.7.1: Hintergrundwerte Quecksilber (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	40
Tab. 3.7.2: Vorsorgewertüberschreitungen für Quecksilber, Anzahl der Überschreitungen	42
Tab. 3.8.1: Hintergrundwerte Zink (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	44
Tab. 3.8.2: Vorsorgewerte und Vorsorge-Hilfswert-SH für Zink, Anzahl der Überschreitungen	46
Tab. 4.1.1: Hintergrundwerte PAK₁₆ nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	48
Tab. 4.1.2: Vorsorgewerte für PAK ₁₆ , Anzahl der Überschreitungen	50
Tab. 4.1.3: Summenstatistiken und Perzentile für PAK ₁₆ unterschieden nach Humusgehalt	50
Tab. 4.1.4: PAK ₁₆ -Extremwerte im Vergleich mit den Ausreißergrenzen	51
Tab. 4.1.5: PAK ₁₆ , Differenzierung nach Depositionsklassen bei Böden unter Grünland	51
Tab. 4.2.1: Hintergrundwerte Benzo(a)pyren nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	52
Tab. 4.2.2: Vorsorgewerte für Benzo(a)pyren, Anzahl der Überschreitungen	54
Tab. 4.2.3: Summenstatistiken und Perzentile für Benzo(a)pyren unterschieden nach Humusgehalt	54
Tab. 4.3.1: Hintergrundwerte PCB₆ nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	56
Tab. 4.3.2: Vorsorgewerte für PCB ₆ , Anzahl der Überschreitungen	58
Tab. 4.3.3: Summenstatistiken und Perzentile für PCB ₆ , unterschieden nach Humusgehalt	58
Tab. 4.4.1: Hintergrundwerte Dioxine und Furane nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert	60
Tab. 4.4.2: PCDD/PCDF-Gehalte im Einflussbereich der Elbe	62
Tab. 4.4.3: PCDD/PCDF-Gehalte im Boden, Vergleich mit bundesweiten Daten (UBA 2007b)	63
Tab. 5.1: Hintergrundwerte für Metalle - Zusammenfassung	64
Tab. 5.2: Überschreitungen der Vorsorgewerte und Vorsorgehilfswerte bei Metallen - Zusammenfassung	66
Tab. 5.3: Hintergrundwerte für Organika - Zusammenfassung	66
Tab. 5.4: Überschreitungen der Vorsorgewerte bei organischen Verbindungen - Zusammenfassung	66

Abbildungen:

Abb. 1.3.1: Depositionsklassen des Polygonkonzeptes	3
Abb. 1.3.2: Übersicht der Probennahmepunkte zur Bestimmung der Hintergrundgehalte	4
Abb. 1.5.1: Beispiel eines Box-Whisker-Plots	7
Abb. 2.4.1: pH-Mittelwerte und -Spannweiten bei Böden verschiedener Nutzungen und Bodenarten.....	14
Abb. 3.1.1: Verteilung der Arsengehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf.	16
Abb. 3.1.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Arsen (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)	17
Abb. 3.2.1: Verteilung der Bleigehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf	20
Abb. 3.2.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Blei (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	21
Abb. 3.3.1: Verteilung der Cadmiumgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzung und Bodenarten / Torf	24
Abb. 3.3.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Cadmium (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)	25
Abb. 3.4.1: Verteilung der Chromgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf	28
Abb. 3.4.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Chrom (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	29
Abb. 3.5.1: Verteilung der Kupfergehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf	32
Abb. 3.5.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Kupfer (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	33
Abb. 3.6.1: Verteilung der Nickelgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf	36
Abb. 3.6.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Nickel (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	37
Abb. 3.7.1: Verteilung der Quecksilbergehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Boden-..... arten / Torf.....	40
Abb. 3.7.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Quecksilber (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	41
Abb. 3.8.1: Verteilung der Zinkgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf ..	44
Abb. 3.8.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Zink (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	45
Abb. 4.1.1: Verteilung der Gehalte an PAK ₁₆ im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf..	48
Abb. 4.1.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für PAK ₁₆ gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)	49
Abb. 4.2.1: Verteilung der Gehalte an Benzo(a)pyren im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Boden-	52
arten / Torf.....	
Abb. 4.2.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Benzo(a)pyren gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)	53
Abb. 4.3.1: Verteilung der Gehalte an PCB ₆ im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf....	56
Abb. 4.3.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für PCB ₆ gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)	57
Abb. 4.4.1: Verteilung der Gehalte an Dioxinen und Furanen (PCDD/PCDF) im Boden, unterschieden nach	60
Nutzungen und Bodenarten / Torf.....	
Abb. 4.4.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für PCDD/PCDF gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK).....	61
Abb. 5.1: Verteilung von Standorten mit Überschreitungen der Vorsorgewerte für Nickel und Zink	65

Hinweis zu den Einheiten: 1 mg = 1.000 µg = 1.000.000 ng

Abkürzungen:

Aa	- Oberbodenhorizont aus anmoorigem Substrat mit Humusgehalten zwischen 15 - 30 %
AK	- Auswertungsklassen (s. Tab. 1.3.2, Seite 4 und Anlage 3)
BaP	- Benzo(a)pyren (eine Einzelsubstanz der Stoffgruppe der PAK)
BBKSH	- Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein
BDF	- Boden-Dauerbeobachtungsfläche
BG	- Bestimmungsgrenze
BGR	- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BK	- Bodenklassen (s. Tab. 1.3.1, Seite 2 und Anlage 1)
BÜK 500	- Bodenübersichtskarte 1:500.000 (STREMME 1981, Anlage 1)
EPA	- Environmental Protection Agency
GK3	- Gauß-Krüger-Koordinatensystem 3. Meridian
GLA	- Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein (bis 1995, ab 1996 zu LANU)
Hn	- Niedermoor torfe (Humusgehalte größer 30 %)
I-TEF	- internationale Toxizitätsäquivalenzfaktoren (nach NATO/CCMS)
I-TEq	- internationale Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CCMS)
KA	- Kartieranleitung (KA3- dritte, KA4- vierte, KA5- fünfte Auflage, AD-HOC-AG BODEN)
KW	- mit Königswasser extrahierbarer Gehalt des Metalls im Boden (s. Kap. 1.5)
LABO	- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANU	- Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (1996-2008, ab 2009 zu LLUR)
LLUR	- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein
NATO/CCMS	- North Atlantic Treaty Organization/Committee on the Challenges of Modern Society
PAK	- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	- Polychlorierte Biphenyle
PCP	- Pentachlorphenol
PCDD/F	- Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und -furane (PCDF)
SSK	- Schadstoffkataster
SH	- Schleswig-Holstein
TEF	- Toxizitätsäquivalenzfaktoren
TM	- Trockenmasse

Gesetze und Verordnungen

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - **BBodSchG**) vom 17.03.1998, zuletzt geändert am 09.12.2004

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (**BBodSchV**) vom 12.07.1999, zuletzt geändert am 31.07.2009

Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Landesbodenschutz- und Altlastengesetz - **LBodSchG**) vom 14.3.2002, zuletzt geändert am 12.12.2008

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - **BioAbfV**) vom 21.09.1998, zuletzt geändert am 20.10.2006

Klärschlammverordnung (**AbfKlärV**) vom 15.04.1992, zuletzt geändert am 29.07.2009

1 Vorgehensweise zur Ermittlung der Hintergrundwerte

1.1 Einleitung und Ausgangssituation

Eine wichtige gesetzliche Aufgabe des Bodenschutzes ist die Vorsorge gegen das Entstehen von schädlichen Bodenveränderungen (vgl. Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG). Voraussetzung dafür sind die Kenntnis und Charakterisierung der landestypischen Hintergrundbelastung der Böden und ihre Bewertung unter anderem mit den Maßstäben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Böden weisen typische Stoffgehalte in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial der Bodenbildung und dem Einfluss der menschlichen Tätigkeiten wie Bodennutzung und Stoffeinträgen auf. Dabei sind die anorganischen Stoffe (u. a. Metalle) überwiegend auf das Ausgangsmaterial der Bodenbildung und organische Schadstoffe nahezu ausschließlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen. Die Hintergrundgehalte setzen sich daher aus einem natürlichen bodenbürtigen und einem ubiquitären Stoffanteil zusammen.

Aufgabe des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) als obere Bodenschutzbehörde ist die Ermittlung und Bewertung der Daten zum Zustand der Böden Schleswig-Holsteins und die Bereitstellung dieser Informationen für die Erfüllung gesetzlicher Aufgaben des Bodenschutzes und der verschiedenen Planungsaufgaben (vgl. § 5 Abs. 2 Landesbodenschutz- und Altlastengesetz - LBodSchG). Das LLUR führt diese Daten im Bodeninformationssystem.

Um Informationen zur typischen Belastungssituation der Böden zu erhalten, wurden bereits Anfang der 1990er Jahre entsprechende Daten im „**Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein (BBKSH)**“ zusammengeführt. In diesem Kataster sind Daten verschiedener Projekte enthalten – das größte dieser Projekte dient der Ermittlung ländlicher Hintergrundgehalte. Aus diesen repräsentativen Daten werden statistische Kennwerte, so genannte **Hintergrundwerte** für Schleswig-Holstein abgeleitet, die den bundesweiten Anforderungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) entsprechen (vgl. LABO 2003).

Im Rahmen dieses Projektes wurden Standorte beprobt, die repräsentativ für stofflich gering beeinflusste Böden Schleswig-Holsteins sind. Da die Auswahl dieser Standorte durch ein digitales Verfahren erfolgte, bei dem als Zwischenschritt eine Karte mit einer Vielzahl von Polygonen stand, wird dieses Projektkonzept im Folgenden als „**Polygonkonzept**“ bezeichnet.

Dieses Konzept grenzt sich damit von anderen Messnetzen mit teilweise ähnlicher Zielsetzung ab, bei denen meist Rasterbeprobungen durchgeführt wurden¹. Die Daten dieser Projekte wie auch die in den Archiven des damaligen Geologischen Landesamtes (GLA) vorliegenden analogen Bodendaten wurden deshalb nicht in den Datensatz des ‚Polygonkonzeptes‘ integriert; dies gilt auch für die Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF).

1.2 Zielsetzung

Am Anfang der Ermittlung ländlicher Hintergrundgehalte stand die Frage nach der Repräsentativität der bis dahin vorliegenden Ergebnisse. Bei Rasterbeprobungen als pragmatischem Beprobungsansatz ist der Standort bezüglich Nutzung und Bodenart i. d. R. dem Zufall überlassen. Differenzierte Aussagen lassen sich jedoch nur durch eine **nutzungs- und bodenartspezifisch gewichtete Beprobungsstrategie** erzielen. Aus diesem Grunde wurden Anfang der 1990er Jahre weitere Beprobungsstrategien entwickelt und auch bei ersten Projekten (z. B. SAVA 1993) praktiziert. Gleichzeitig wurden Hintergrundwerte z. B. für Umweltverträglichkeitsprüfungen im Rahmen von Planungsvorhaben benötigt. Um Beprobungsergebnisse regionalspezifisch einordnen zu können, wurden für das ‚Polygonkonzept‘ vorhandene Messnetzkonzepte (FRÄNZLE et al. 1986, KUHN 1990, HERTLING et al. 1995, SCHMOTZ 1996) weiter entwickelt.

¹ 1982 führte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe eine Untersuchung in einem 3 x 3 km Beprobungsraster zur Metallbelastung von Fließgewässersedimenten durch (FAUTH et al. 1985); für Schleswig-Holstein liegen ca. 2830 Beprobungsstandorte vor. 1987 wurde von der LUFA Kiel eine landesweite Rasterbeprobung (4 x 4 km Raster) von Böden durchgeführt (insgesamt 977 Bodenproben) (MELF 1988, REICHE 1992). Seit etwa 1987 wurden Bodenuntersuchungen in Wäldern begonnen (bundesweite Rasterbeprobung 8 x 8 km) (BML 1996).

Für die Mitte der 1990er Jahre in Erarbeitung befindlichen bodenschutzrechtlichen Regelungen (BBodSchG und BBodSchV) wurden aussagekräftige Hintergrundwerte benötigt, um praktikable Vorsorgewerte ableiten zu können. Es zeigten sich somit verschiedene Erfordernisse nach regionalspezifischen Hintergrundwerten. Der dafür zu untersuchende Bodenausschnitt sollte sich an den Nutzungsformen orientieren und die oberen Zentimeter bzw. Dezimeter umfassen („**Oberboden**“). Es wurden Analysedaten für die gängigen Metalle und organischen Verbindungen von **stofflich gering beeinflussten Oberböden in Schleswig-Holstein**, unterschieden nach Nutzung und Bodenarten / Torf ermittelt.

Die aus den Hintergrundgehalten abgeleiteten Hintergrundwerte sollen für Fragen der Bewertung von Schadstoffen im Boden als Grundlage dienen. Sie sollen dem fachlich Interessierten z. B. in Planungsverfahren, bei der Einordnung neuer Analysen im ländlichen Raum Hinweise auf die Größenordnung der in Schleswig-Holstein zu erwartenden Stoffgehalte in stofflich gering beeinflussten Böden geben können.

Böden aus Siedlungsräumen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Betrachtung.

Ergänzend zum Bericht können die Karten der Hintergrundwerte im Landwirtschafts- und Umweltatlas (www.umweltdaten.landsh.de/atlas/script/index.php) eingesehen werden.

1.3 Das Polygonkonzept – ein Konzept zur Ermittlung ländlicher Hintergrundwerte

Leitgedanke des Konzeptes ist der Versuch, den Ursache-Wirkungs-Beziehungen Rechnung zu tragen, aufgrund derer sich für unterschiedliche Schadstoffe regionale Verteilungsmuster ergeben könnten. Vor diesem Hintergrund war es ein wesentliches Ziel, einen **hohen Grad an räumlicher Repräsentativität** zu erreichen. Folgende landesweite Informationen wurden dazu in das Auswahlverfahren einbezogen (REICHE 1991):

- die Verteilung vorherrschender Bodentypen und -arten (STREMME 1981, 1:500.000, „BÜK 500“),
- die Flächennutzung und Agrarstruktur bezogen auf Gemeindeflächen aus den Daten des Liegenschaftskatasters, der Kreiskataster und des Statistisches Landesamtes,
- die Verteilung der Landeswaldflächen gemäß der forstlichen Standortkartierung,
- die Naturschutzgebiete mit Stand von 1991,
- die mittlere Depositionsverteilung unterschieden nach Nährstoffen, Schwermetallen und meeresbürtigen Stoffeinträgen sowie Niederschlagsverteilung (FRÄNZLE et al. 1991),
- die Verkehrsmengenzählung für Bundesstraßen und Autobahnen 1985 in Schleswig-Holstein
- und das Emissionsursachenkataster des Umweltbundesamtes (LÖBLICH 1985).

Durch digitale Überlagerung und Verschneidung dieser Informationsebenen wurden Flächenausschnitte (Polygone) unterschiedlicher Merkmalskombinationen (Boden, Nutzung, Stoffeintragssituation) erzeugt und durch angepasste statistische Verfahren klassifiziert. Um zu statistisch abgesicherten Ergebnissen zu kommen, wurde festgelegt, dass Gruppen mit ungefähr 40 - 50 Standorten gleicher Merkmalskombination beprobt werden sollten. Aufgrund dieser Festlegung und der geplanten Gesamtanzahl von maximal 2.000 Probenahmepunkten ergab sich eine Anzahl von 50 zu unterscheidenden Gruppen. Da die Verschneidung der o. g. Informationen mehr als 50 unterschiedliche Gruppen als Ergebnis hatte, mussten Merkmale zusammengefasst werden. So wurde es notwendig, die in der **Bodenübersichtskarte BÜK 500** abgebildeten Bodenformen (Merkmalskombination Bodenart / Torf und Bodentyp) in 6 Klassen wie folgt zu klassifizieren (zu den einzelnen Zuordnungen siehe [Anlage 1](#) im Anhang):

Tab. 1.3.1: Ableitung der sechs Bodenklassen (**BK**) aus der Bodenübersichtskarte (BÜK 500)

Bodenklasse	dominante Bodenarten / Torfe	Bodentypen (BÜK 500)
BK 1	sandiger Lehm bis Lehm	Parabraunerden, Pseudogleye, Gleye
BK 2	lehmiger Sand bis Sand, Sand über Lehm	Braunerden, Braunerde-Podsole
BK 3	Sand, Sand über Lehm	Podsole, Gleye und Pseudogleye
BK 4	anmoorige Substrate und Torfe	Anmoor und Niedermoor
BK 5	Ton und Schluff	Dwog-, Knick- und Moormarschen
BK 6	Schluff	Kalk- und Kleimarschen

Die drei maßgeblichen Nutzungen **Acker, Grünland und Wald** (unterteilt nach Laub- und Nadelwald) wurden auf Basis von Gemeindeinformationen ermittelt; Gemeinden mit einer Siedlungsdichte > 150 Einwohner / km² wurden wegen zu städtischer Prägung nicht berücksichtigt.

Um den Anforderungen eines Hintergrundmessnetzes gerecht zu werden, wurden die durch besondere, lokal bedingte **Belastungssituationen** gekennzeichneten Bereiche für die Beprobung ausgeschlossen. Dies erfolgte unter Berücksichtigung von Ergebnissen der Verkehrszählung (Straßennetz) sowie unter Einbeziehung des vom Umweltbundesamt geführten Emissionsursachenkatasters. In diesem Kataster sind die NO_x- und SO₂-Emissionen rasterbezogen dokumentiert. Im Ergebnis wurden auf diese Weise die Siedlungsflächen und Verkehrsachsen inkl. des Nord-Ostsee-Kanals einschließlich von Pufferflächen als Ausschlussflächen definiert.

Um landesweit diffuse luftgetragene Stoffeinträge zu berücksichtigen, wurden Ergebnisse des rasterförmigen **Depositionsmessnetzes** ausgewertet (JENSEN-HUSS 1990). Das Messprogramm umfasste Schwermetalle (Cd, Pb, Cu, Zn) und Pflanzennährstoffe (NO₃, NH₄, K, Mg, SO₄), wobei die Schwermetalleintragsraten besonders gewichtet wurden. Aus den Messergebnissen wurden vier Depositionsklassen abgeleitet. Sehr geringe Stoffeinträge wurden der Depositionsklasse 1, für Schleswig-Holstein vergleichsweise hohe Einträge wurden der Depositionsklasse 4 zugeordnet:

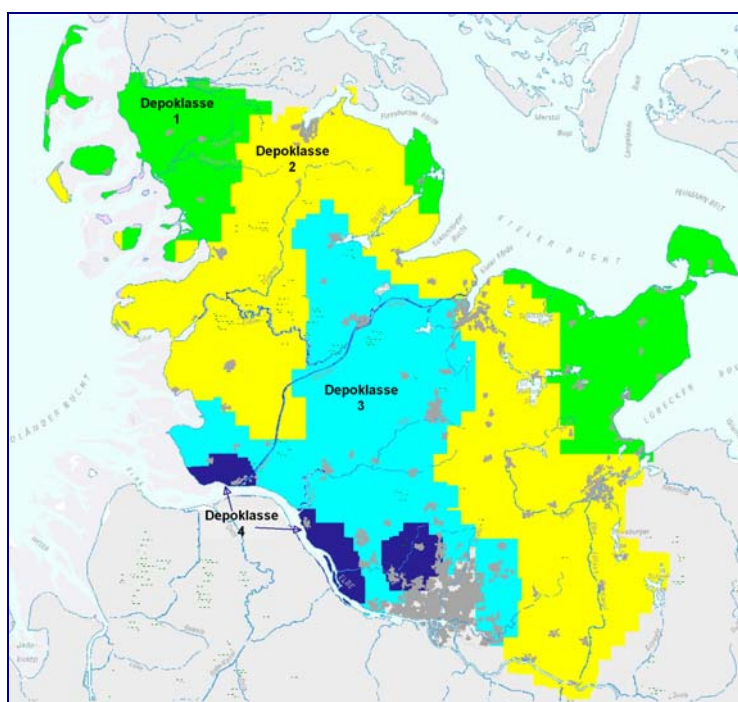


Abb. 1.3.1: Depositionsklassen des Polygonkonzeptes

Durch digitale Verschneidung der verschiedenen Flächeninformationen wurde die Landesfläche in 13.000 Einzelpolygone aufgeteilt. Unter Beachtung der Ausschlussflächen wurden den Polygonen insgesamt **50 Merkmalsgruppen** zugeordnet. Innerhalb repräsentativer Polygone wurden Suchflächen für die Probenahme festgelegt. Diese Suchflächen wurden in den Jahren von 1991 bis 2006 aufgesucht, geeignete Probenahmepunkte festgelegt und beprobt. Abbildung 1.3.2 zeigt die Probenahmepunkte vor dem Hintergrund der naturräumlichen Gliederung Schleswig-Holsteins (stark vereinfacht, ohne Niederungsbereiche und Moorgebiete).

Die Auswertung und statistische Betrachtung aller 50 Gruppen des Polygonkonzeptes (ARGUMENT 2009) ergab, dass **das Kriterium Deposition die ermittelten Stoffgehalte kaum beeinflusst**. Ausschließlich bei PAK ist ein solcher Einfluss zu erkennen. Aus diesem Grunde erfolgte für die nachfolgende Auswertung eine **Zusammenlegung der 50 Polygongruppen zu 13 landesweiten Auswertungsklassen (AK)**.

Dadurch konnten zudem statistisch besser abgesicherte Grundgesamtheiten gebildet werden. Für die in Tabelle 1.3.2 dargestellten Klassen wurden die statistischen Informationen ermittelt und in Karten dargestellt.

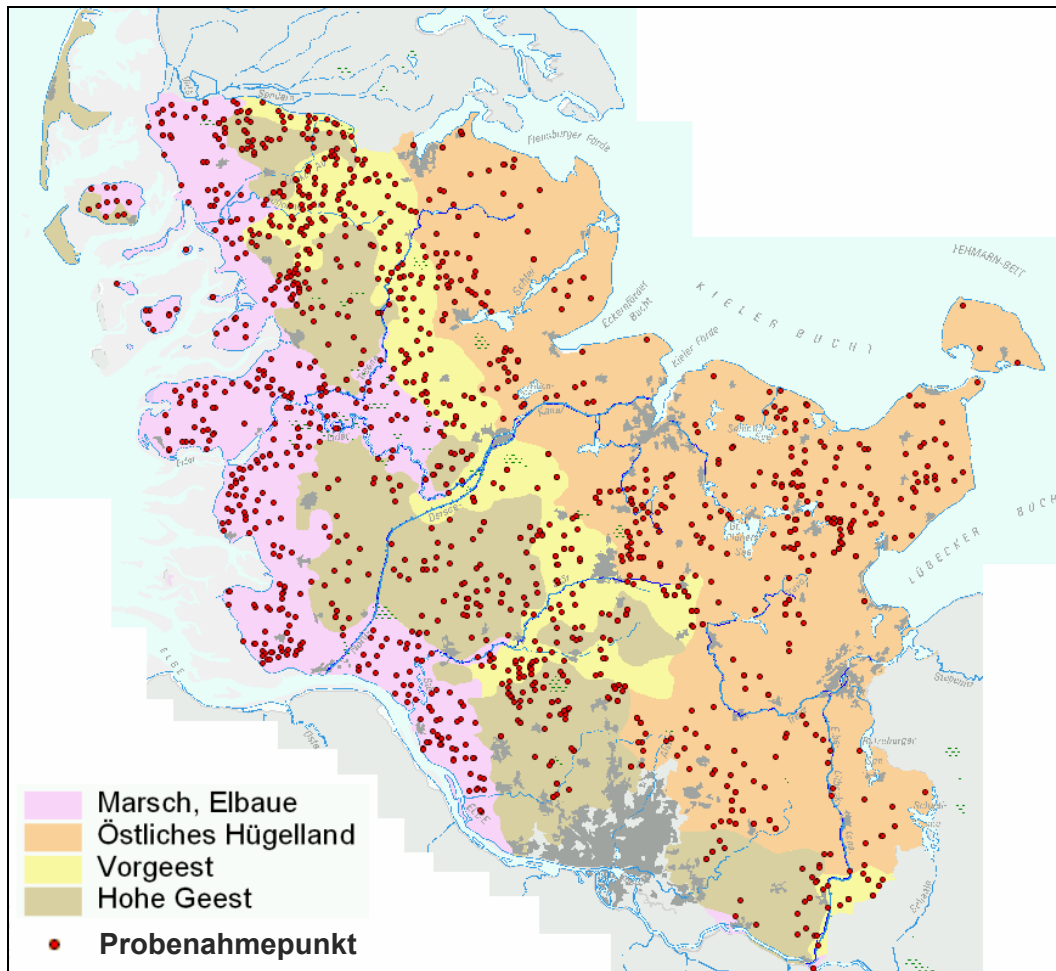


Abb. 1.3.2: Übersicht der Probenahmepunkte zur Bestimmung der Hintergrundgehalte

Tab. 1.3.2: **Auswertungsklassen (AK)**

AK	Nutzung	Bodenklasse (Tab. 1.3.1)	dominante Bodenarten/Torfe	Bodentypen
1	Acker	BK 1 (Östliches Hügelland)	sandiger Lehm bis Lehm	Parabraunerde, Pseudogley, Gley
2	Acker	BK 2 (Hohe Geest)	Sand bis lehmiger Sand	Braunerden, Braunerde-Podsole
3	Acker	BK 3 (Vorgeest)	Sand, Sand über Lehm	Podsole, Gleye, Pseudogleye
4	Acker	BK 5 (Alte Marsch)	Ton bis Schluff	Dwog-, Knick- und Moormarsch
5	Acker	BK 6 (Junge Marsch)	Schluff	Kalk- und Kleimarsch
6	Grünland	BK 1 (Östliches Hügelland)	sandiger Lehm bis Lehm	Parabraunerde, Pseudogley, Gley
7	Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	Sand bis lehmiger Sand	Braunerden, Braunerde-Podsole
8	Grünland	BK 3 (Vorgeest)	Sand, Sand über Lehm	Podsole, Gleye, Pseudogleye
9	Grünland	BK 4 (landesweit)	anmoorige Substrate und Torfe	Anmoor und Niedermoor
10	Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	Ton bis Schluff	Dwog-, Knick- und Moormarsch
11	Grünland	BK 6 (Junge Marsch)	Schluff	Kalk- und Kleimarsch
12	Laubwald	Diverse (landesweit)	Sand bis sandiger Lehm *	Diverse
13	Nadelwald	Diverse (landesweit)	Sand bis sandiger Lehm *	Diverse

* Anders als bei AK 1-11, bei denen dominante Bodenarten aufgeführt sind (z. B. enthält AK 10 auch einige Torfstandorte), enthalten die Auswertungsklassen 12 und 13 ausschließlich Standorte mit Sand bis lehmigem Sand. Wald auf Böden anderer Bodenarten oder aus Torf ist nicht beprobt - eine Darstellung solcher Flächen erfolgt hilfsweise (s. Kap. 1.8).

Erläuterung zur dritten Spalte: **Als Hinweis** (kursiv) ist der Bodenklasse eine dem typischen Verbreitungsgebiet Rechnung tragende Zuordnung zur naturräumlichen Gliederung in Klammern beigelegt.

1.4 Kenngrößen des Bodenbelastungskatasters (BBKSH)

Jeder Bodenmaterialprobe (\approx ‚Probe‘) des BBKSH sind allgemeine Angaben wie Lage (Rechts- und Hochwerte), Gemeinde, Datum, Projekt, Projektspezifikation, Beprobungstiefen, Informationen zu Bodentyp, Nutzung/ Kultur/ Vegetation, Relief, Kalk, Ausgangsgestein sowie weitere Angaben nach KA4 (AD-HOC-AG BODEN) wie etwa zu Bodenarten, Horizontbezeichnung, Farbe, Humusstufe, Geländeform zugeordnet.

Die Beprobungstiefen orientieren sich an den Bodenhorizonten.

In der Regel sind Proben von **Ackerflächen** aus einer Tiefe von **0-30 cm** entnommen.

Proben von Böden unter **Grünland** orientieren sich am Hauptwurzelsbereich, der mit Beginn des Projektes mit einer Tiefe von **0-5 cm** festgelegt wurde. Diese Entnahmetiefe wurde auch nach Verabschiedung der BBodSchV – die einen Hauptwurzelsbereich von 0-10 cm nennt – beibehalten, um ein vergleichbares Probenkollektiv zu bewahren. In Schleswig-Holstein vorliegende Daten aus mehreren Tiefen weisen bisher nicht auf signifikante Unterschiede von Untersuchungsergebnissen aus den beiden Beprobungstiefen hin. Beim **Vergleich von Grünland- und Ackerstandorten** ergeben sich durch die stärkere ‚Verdünnung‘ eingetragener Stoffe beim Pflügen jedoch tendenziell geringere Stoffgehalte bei Acker- gegenüber Grünlandstandorten.

Als Labordaten liegen Untersuchungsbefunde zu Körnung, Feuchtegehalt, Dichte, pH-Wert, organische Substanz (C_{anorg} , C_{org} oder Humusgehalt), Kationenaustauschkapazität (KAK) sowie zu folgenden Nähr- und Schadstoffen vor:

Anorganika: Nährstoffe (P, N), Erdalkali und Alkali (Ca, K, Mg, Na), Erdmetalle (Al, Ti), Halbmetalle (As, Se, Si, Sb) sowie Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn).

Organika: Polychlorierte Dibenzodioxine und -Furane (PCDD/PCDF - 17 Kongenere²), Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK - 19 Verbindungen), Polychlorierte Biphenyle (PCB - 6 Kongenere nach Ballschmiter und 9 coplanare Kongenere), Chlorbenzole (7 Verbindungen)*, Chlorphenole (20 Verbindungen)*, Triazine (6 Verbindungen)*, Organochlorpestizide (29 Verbindungen)* und weitere 12 Verbindungen*.

Da nicht alle Standorte des Polygonkonzeptes auf Organika untersucht werden konnten, wurde für jede Gruppe eine repräsentative Auswahl von Standorten für die Organika-Analysen ausgewählt.

Für einen Großteil der Organika (die mit * gekennzeichneten Gruppen / Verbindungen) liegen nur wenige Werte oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen vor, eine statistische Auswertung dieser insgesamt unauffälligen Befunde wurde daher nicht durchgeführt.

1.5 Extraktions- und Analyseverfahren – Auswahl geeigneter Datensätze

Um Bodenmaterialproben auf Metalle untersuchen zu können, muss vor der Messung eine Überführung des zu untersuchenden Elementanteils von der festen in die flüssige Phase erfolgen. Hierzu kommen in Abhängigkeit von der Fragestellung verschiedene Extraktionsverfahren zum Einsatz. Leicht mobilisierbare, pflanzenverfügbare Anteile anorganischer Schadstoffe werden gemäß BBodSchV mit einer wässrigen Ammoniumnitrat-Lösung (1n NH_4NO_3) extrahiert.

Schwerer mobilisierbare Anteile oder Fraktionen eines anorganischen Elements werden mit unterschiedlichen Säuregemischen aufgeschlossen. Der nachfolgenden Auswertung liegen Angaben zu Schwermetallgehalten zu Grunde, die nach einem Aufschluss durch Königswasser³ (Salzsäure-Salpetersäure-Gemisch, Verhältnis 1:3) ermittelt wurden. Für die nachfolgende Auswertung finden die Stoffe und Stoffgruppen Berücksichtigung, die einerseits hinreichend häufig Befunde oberhalb der Bestimmungsgrenze aufweisen und zum anderen mittels Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) bewertet werden können.

Bei den Metallen sind dies aus dem **Königswasserextrakt (KW)** analysierte Gehalte im Boden:

Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink.

² ‚Kongenere‘ sind Verbindungen mit einem einheitlichen Grundgerüst - hier mit einer unterschiedlichen Anzahl von Chloratomen.

³ Der Begriff ‚Königswasserextrakt‘ nach Anhang 1 der BBodSchV entspricht dem ‚Königswasser-aufschluss‘ nach Anhang 2 der BBodSchV, d.h. die Begriffe werden synonym gebraucht. Das Kürzel ‚KW‘ steht daher für beide Begriffsvarianten.

Für Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Thallium und Zink sind in der BBodSchV Prüfwerte (bei Cadmium Maßnahmenwerte) nach einer **Ammoniumnitratextraktion** des Bodenmaterials aufgeführt, die bei der Bewertung von Ackerbauflächen heranzuziehen sind. Die Extraktion mit dieser Salzlösung ist dem Königswasserextrakt (Säure-lösliche Anteile) nicht vergleichbar.

Es liegen insgesamt 153 Proben mit Elementbestimmungen nach Ammoniumnitratextraktion von Ackerbauflächen vor. Diese Anzahl ist für eine differenzierte statistische Auswertung gering. Meist lagen die Metallgehalte unter der Bestimmungsgrenze (BG), bei einzelnen Elementen wies die BG jedoch keinen ausreichenden Abstand zum Prüf- bzw. Maßnahmenwert auf. Es werden daher keine Hintergrundwerte für Metalle nach einer Ammoniumnitratextraktion angegeben.

Analyseergebnisse anderer Aufschlussverfahren, die die vollständigen Elementgehalte für die Analyse freisetzen (sog. Totalaufschlüsse) sind hier nicht dargestellt. Bei einzelnen Standorten lagen nur Totalaufschlüsse vor, so dass dort nur Organikadaten (bzw. teils Quecksilberdaten) ausgewertet werden konnten. Dies ist ein Grund für eine uneinheitliche Anzahl von Datensätzen.

Beim Vergleich mit Hintergrundwerten aus anderen Quellen (z. B. FAUTH et al. 1985, AD-HOC-AG GEOCHEMIE 1996, BGR 2006) ist zu beachten, dass dort ggf. in Totalaufschlüssen bestimmte Gehalte oder vergleichbar vollständigen Elementanalysen der Bodenmaterialproben (Gesteine / Sedimente) präsentiert werden. ARGUMENT 2009 enthält Angaben zum Verhältnis von Königswasserextrakten und Totalaufschlüssen.

Bei der Untersuchung von Bodenmaterialproben auf Organika wird der getrocknete Boden mit organischen Lösungsmitteln extrahiert. Die Stoffe wurden nach den zur jeweiligen Zeit gültigen Normen analysiert. Folgende Summenparameter / Substanzen wurden ausgewertet:

Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆), hierbei handelt es sich um 16 Verbindungen, die gemäß EPA (1982) aufsummiert und den Beurteilungswerten gegenübergestellt werden (siehe Anlage 4). Als Leitsubstanz wird zudem das **Benzo(a)pyren** (BaP), das Teil der Stoffsumme PAK₁₆ ist, gesondert dargestellt und bewertet.

Bei den **Polychlorierten Biphenylen** (PCB) werden gemäß BBodSchV sechs Kongenere als PCB₆ nach Ballschmiter aufsummiert (siehe Anlage 4).

Bei den **Polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen** (PCDD und PCDF) werden 17 Kongenere (7 PCDD und 10 PCDF) für die Summenbildung herangezogen, wobei zuvor eine Gewichtung entsprechend der jeweiligen Toxizitätsäquivalente nach NATO/CCMS durchgeführt wird (siehe Anlage 4).

Die Extraktions- wie Analyseverfahren haben sich im Laufe des Untersuchungszeitraums von 1991 bis 2007 entsprechend dem wissenschaftlichen und analytischen Fortschritt geändert; die Verabschiedung der BBodSchV mit ihren analytischen Festlegungen fällt in den Projekt-Zeitraum. Bei den hier ausgewerteten Daten wird von einer **Vergleichbarkeit** der eingesetzten Extraktions- wie Analyseverfahren ausgegangen. Soweit durch die Verbesserungen der Vorschriften geringere Bestimmungsgrenzen erreicht wurden, weichen auch die Bestimmungsgrenzen der Datensätze (s. DIN 32645: 05.94) voneinander ab.

1.6 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung werden Stoffgehalte unterhalb der jeweiligen **Bestimmungsgrenze (BG)** jeweils auf 0 gesetzt.

Es werden jeweils die statistischen Grundparameter wie Anzahl der Beobachtungen (n), arithmetischer Mittelwert, Median (50er-Perzentilwert), Minimum, Maximum, unteres (25er-Perzentilwert) und oberes Quartil (75er-Perzentilwert) sowie weitere Perzentile (90er- und 95er-Perzentilwert) ermittelt. Die Perzentile werden z. T. auch graphisch durch „Box-Whisker-Plots“ dargestellt.

Zur Berechnung des **arithmetischen Mittels** (Durchschnitt) werden alle Daten aufsummiert und durch die Zahl der Fälle (n) geteilt. Ausreißerwerte (extrem abweichende Werte) führen zur Überbewertung des arithmetischen Mittelwerts. Der Wert wird bei der Auswertung der Hintergrundgehalte u. a. grafisch in den Box-Whisker-Plots dargestellt.

Der **Median** (oder **50er-Perzentilwert**) bezeichnet die Gehaltsgrenze, die die Stichprobe in zwei Hälften teilt. Sortiert man die Beobachtungswerte der Größe nach („geordnete Stichprobe“), so ist der Median bei einer ungeraden Anzahl von Beobachtungen der Wert, der in der Mitte dieser Stichprobe liegt. Bei einer geraden Anzahl von Beobachtungen werden die beiden mittleren Beobachtungen addiert und durch 2 geteilt, um den Median der Stichprobe zu ermitteln. Gegenüber dem arithmetischen Mittel hat der Median den Vorteil, robuster gegenüber Ausreißern zu sein, da die Höhe des oder der Ausreißer den Median nicht verändert.

Werden die geordneten Werte in vier gleiche Teile geteilt, so erhält man neben dem Median das untere Quartil (25er-Perzentilwert) und das obere Quartil (75er-Perzentil).

Werden die geordneten Werte in hundert gleiche Teile geteilt, erhält man die **Perzentile** („Hundertstelwert“, entsprechend einer Prozentangabe). Neben dem Median (50er-Perzentilwert) und dem unteren und oberen Quartil werden häufig die **90er- bzw. 95er-Perzentilwerte** angegeben. Letztere Werte teilen die Stichprobe so, dass 90 % bzw. 95 % der Daten unterhalb des angegebenen Wertes und lediglich 10 % bzw. 5 % darüber liegen.

Die Zahl der Beobachtungen (n) sollte für eine Perzentilauswertung mindestens 20 betragen. Abweichend davon wurden in einigen wenigen Fällen auch bei weniger Beobachtungen Werte berechnet - die so gewonnenen Informationen haben nur orientierenden Charakter. **Die 75er- und 90er-Perzentile werden bei Kollektiven mit $n < 20$ in den Auswertungstabellen kursiv gesetzt.**

Auch aus Gründen der Übersichtlichkeit werden bei der Auswertung der Hintergrundgehalte nicht alle statistischen Kenngrößen aufgeführt. Minimum, 5er-, 10er- und 25er- Perzentilwerte wie auch das arithmetische Mittel sind bei ARGUMENT 2009 dokumentiert. Die statistischen Kenngrößen im niedrigen Konzentrationsbereich sind weniger belastbar, da sie auch durch die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen der im Laufe der Zeit verwendeten Analysemethoden bestimmt werden.

Box-Whisker-Plot

Als Box wird das durch die 25er- und 75er-Perzentile begrenzte Rechteck (in der Abbildung grau dargestellt) bezeichnet, sie umfasst 50% der Daten (siehe auch MCGILL et al. 1978). Die Breite der Box ist ein Maß der Streuung; die Differenz des 75er- und des 25er-Perzentils wird **Interquartilabstand (IQR)** genannt.

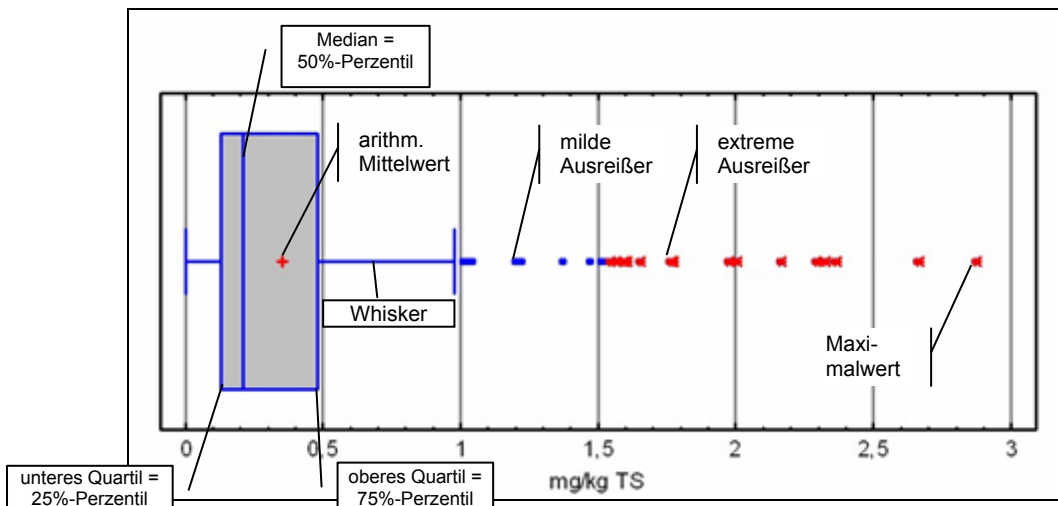


Abb. 1.5.1. Beispiel eines Box-Whisker-Plots

Der Median (50er-Perzentil) ist in der Box als senkrechter blauer Strich eingezeichnet. Durch seine Lage innerhalb der Box vermittelt er einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung. Zusätzlich wird der arithmetische Mittelwert als rotes Kreuz dargestellt.

Als Whisker werden die waagerechten blauen Linien mit senkrechtem Abschluss bezeichnet. Die Länge der Whisker beträgt maximal das 1,5-fache des Interquartilabstandes ($1,5 \times \text{IQR}$) und wird immer durch einen Wert aus den Daten bestimmt. Werte, die über dieser Grenze liegen, werden separat in das Diagramm eingetragen und als **Ausreißer** bezeichnet. Gibt es keine Werte außerhalb der Whisker, so wird die Länge des

Whiskers durch den maximalen bzw. minimalen Wert festgelegt.

Häufig werden Ausreißer, die zwischen $1,5 \times \text{IQR}$ und $3 \times \text{IQR}$ liegen, als „milde“ **Ausreißer** (blaue Punkte in den Abbildungen) bezeichnet und Werte, die über $3 \times \text{IQR}$ liegen, als „extreme“ **Ausreißer** (blaue Punkte mit roten Sternen). 13 Analysewerte, deren Höhe darauf schließen ließ, dass es sich unabhängig von der folgenden Klassenbetrachtung um **sehr extreme Ausreißer** handelt, wurden aus dem Gesamtdatensatz entfernt.

1.7 Hintergrundgehalte und Hintergrundwerte – Aufbau der Auswertetabellen

Durch das in Kap. 1.3 beschriebene Konzept und die sorgfältige Auswahl und Beprobung der Standorte wird davon ausgegangen, dass die ermittelten Schadstoffgehalte im Boden repräsentativ für gering beeinflusste Böden Schleswig-Holsteins sind und so die natürlich bedingten (aus dem Ausgangsgestein, d. h. geogen) und durch ubiquitäre (weit verbreitete, diffuse) Schadstoffverteilung überprägten **Hintergrundgehalte** dieser Stoffe darstellen.

Die aus Hintergrundgehalten ermittelten statistischen Kenngrößen stellen gemäß LABO die **Hintergrundwerte** dar. Da die Hintergrundgehalte i. d. R. nicht normalverteilt sind, soll als statistische Methode grundsätzlich die in Kap. 1.6 beschriebene Perzentilberechnung verwendet werden.

Die LABO schlägt zur Charakterisierung von Datensätzen insbesondere die Angabe des **50er-Perzentilwertes (Median)** und des **90er-Perzentilwertes** vor. Der Median ist die gegenüber Ausreißern sehr unempfindliche Kenngröße und auch bei einer kleineren Stichprobenanzahl noch aussagekräftig. Der 90er-Perzentilwert eignet sich insbesondere, um festzustellen, ob ein (zusätzlicher) Analysewert bei Unterschreiten des 90er-Perzentils (mit 90 %-iger Wahrscheinlichkeit) noch als „normal“ anzusehen ist. Proben mit „anormalen“ Gehalten größer als das 90er-Perzentil geben zumindest Hinweise auf zusätzliche anthropogene Beeinflussungen oder andere ggf. auch natürliche Stoffanreicherungen (siehe Anlage 5).

Aus den ermittelten Hintergrundgehalten wurden für unterschiedliche Kollektive die entsprechenden Hintergrundwerte berechnet und diese in der Auswertetabelle für jeden Stoff (siehe Tab 3.4.1, ect.) tabellarisch dargestellt. Dabei werden unterschiedliche Differenzierungsgrade (Kollektive nach Nutzung, nach Bodenarten sowie die Kombination daraus) angeboten. Zudem werden zwei Klassen mit humusreichem Oberboden statistisch ausgewertet; das Kollektiv mit Humusgehalten $> 15\%$ aus anmoorigen Substraten und Niedermoortorfen (**Aa / Hn**) wird dabei auch im Box-Whisker-Plot den nach Bodenarten differenzierten Kollektiven gegenübergestellt. Das Kollektiv der Niedermoortorfe (**Hn**) mit Humusgehalten $> 30\%$ ist ein Teilkollektiv von Aa / Hn. Im letzten Block der Auswertetabellen folgen die **13 Auswertungsklassen** gemäß Tab. 1.3.2, die die aus der Bodenübersichtskarte aggregierten Bodenformen mit Nutzungsinformationen zusammenführen. Diese 13 Klassen stellen die differenziertesten Kollektive dar. Insbesondere bei den PCDD/PCDF wird die Mindestprobenzahl zur Angabe von Perzentilen von $n = 20$ nicht immer erreicht. Bei einer Probenanzahl < 20 kann kein 95er-Perzentilwert angegeben werden (in der Tabelle erkenntlich als „-“).

Die Auswertungsklassen 12 und 13, Laub- und Nadelwald, berücksichtigen nur die Untersuchungen des mineralischen Oberbodenmaterials, Analysen von Waldauflagen sind nicht enthalten. Die Summe der Datensätze aller 13 Auswertungsklassen entspricht daher dem Gesamtdatensatz ohne Waldauflagen.

Da mit höherem Differenzierungsgrad und folglich kleinerem n Ausreißer insbesondere den 90er-Perzentilwert stärker beeinflussen, ist für diese 13 Klassen eine **Eliminierung der extremen Ausreißer mit Einzel-fallprüfung** vorgenommen worden. Einzelne Analysewerte werden nach dieser Prüfung nicht mehr für die Berechnungen der jeweiligen Auswertungsklassen verwendet. Dies ist in den Parameter-Tabellen mit (-1) bis (-3) angemerkt. Maximalwerte der (größeren) Kollektive fehlen daher bei den 13 Auswertungsklassen wenn sie als Ausreißer identifiziert sind.

Erläuterungsbedürftig ist der Unterschied zwischen dem Kollektiv der anmoorigen Substrate / Niedermoortorfe (Aa / Hn) und der Auswertungsklasse 9 mit gleicher Beschreibung, aber abweichender Standortanzahl. Der Unterschied ergibt sich durch die Zuordnung von Standorten zu den Bodenklassen (BÜK 500). Bei den gebietsbezogenen Kollektiven sind neben den Standorten mit dominanten Bodenarten (oder Aa / Hn) auch davon abweichende Standorte berücksichtigt, wenn sie in der dargestellten Bodeneinheit lagen.

1.8 Darstellung der statistischen Informationen in Karten

Zur Darstellung der statistischen Information wurde als **kartographische Grundlage** die Bodenübersichtskarte des Landes Schleswig-Holstein im Maßstab 1:500.000 (**BÜK 500, Anlage 1**) mit einer Übersichtskarte der Nutzungen im Maßstab 1:100.000 - dem CORINE Land Cover-Datensatz - verschnitten. Die Bodenformen der BÜK 500 wurden, wie in Anlage 1 tabellarisch dargestellt, zusammengefasst.

Das europaweite Projekt **CORINE Land Cover** (CLC2000, siehe **Anlage 2**) hat die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa zum Ziel. Die Kartierung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100.000 durchgeführt.

Um diese Daten mit den in Schleswig-Holstein vorliegenden 35 Nutzungskategorien möglichst flächendeckend verwenden zu können, wurden einige Nutzungskategorien zusammengefasst (siehe tabellarische Zuordnung in Anlage 2). 11 Siedlungstypische Kategorien wurden zur Nutzung ‚Siedlung‘, und alle Gewässerinformationen zu ‚Wasser‘ zusammengefasst. Flächenmäßig bedeutsam ist die CLC-Nutzungskategorie „kleinräumig wechselnde Nutzungstypen“ – hier handelt es sich vor allem um kleinräumig wechselnde Acker- und Grünlandnutzungen. Alle CLC-Flächen mit dem Code „kleinräumig wechselnde Nutzungstypen“ wurden für die Kartendarstellungen dem Grünland zugeordnet. Da die Stoffgehalte bei Böden unter Grünland in der Regel höher sind als bei Böden unter Acker, wird durch die Zuordnungen von nicht beprobten Nutzungstypen zur Kategorie Grünland ein tendenziell ungünstiger Fall dargestellt (gemäß der Tabelle in Anlage 2 u. a.: Obst- und Beerenobstbestände, Heiden und Moorheiden, Sümpfe etc.).

Viele Verschneidungsflächen der beiden Karten entsprechen so den 13 Auswertungsklassen (AK) - die flächenhafte Verteilung der Auswertungsklassen ist damit näherungsweise darstellbar und **Anlage 3** zu entnehmen.

Als statistische Information der natürlichen Stoffgehalte in Oberböden Schleswig-Holsteins werden für jeden Parameter die 90er-Perzentilwerte der Auswertungsklassen (siehe Tab. 1.3.2) als Hintergrundwerte auf die so erzeugte Karte übertragen - diese Werte sind im untersten Kollektivblock der Auswertetabelle eines Stoffes **grau hinterlegt**.

Durch die Wahl der 90er-Perzentile werden regional ‚noch‘ als typisch einzuschätzenden Stoffgehalte als Hintergrundwerte dargestellt. Sie sind zahlenmäßig immer höher als durchschnittliche Stoffgehalte. Kartografische Darstellungen von Medianen sind daher mit den hier vorgelegten Abbildungen nicht vergleichbar.

Für die **farbliche Abstufung der 90er-Perzentilwerte** werden geeignete Gehaltsgrenzen benötigt. Hierzu werden die Perzentilwerte des **Gesamtdatensatzes ohne Waldauflagen** verwendet: der 50er-, 75er-, 90er- und 95er-Perzentilwert (zweite Zeile der Auswertetabelle eines Stoffes - dort **rosa hinterlegt**). So lassen sich gegenüber einer für ganz Schleswig-Holstein über alle Nutzungen gültigen Verteilung gebietsbezogene Eigenheiten in ihrer Tendenz gut darstellen. Es ergibt sich folgende farbliche Abstufung von grün-niedrig bis braun-hoch:

	: 90er Perzentil einer AK < 50er-Perzentil des Gesamtdatensatzes	
	: 90er Perzentil einer AK > 50er - ≤ 75er-Perzentil des Gesamtdatensatzes	
	: 90er Perzentil einer AK > 75er - ≤ 90er-Perzentil des Gesamtdatensatzes	90er-Perzentil des Gesamtdatensatzes
	: 90er Perzentil einer AK > 90er - ≤ 95er-Perzentil des Gesamtdatensatzes	
	: 90er Perzentil einer AK > 95er-Perzentil des Gesamtdatensatzes	

Entspricht der 90er-Perzentilwert einer Auswertungsklasse (AK) dem 90er-Perzentilwert des Gesamtdatensatzes, ist diese AK gelb eingefärbt (gelb-Bereich bis ≤ 90er-Perzentil), bzw. bei nur leicht höheren Stoffgehalten ocker. Stoffverteilungen ohne starke gebietsbezogene Eigenheiten wären daher hauptsächlich in den Farben gelb/ocker dargestellt. Die beiden **Grüntöne** zeigen unterdurchschnittliche, die Farbe **braun** überdurchschnittliche Stoffgehalte an. Nicht jede Farbe muss belegt sein.

Die so erstellten Karten stellen **keine Ortsinformation** im eigentlichen Sinne dar, sondern vermitteln vielmehr den Eindruck der **Spannweite der zu erwartenden 90er-Perzentile in einer Region**. Die für den Betrachtungsmaßstab notwendige Generalisierung kann naturgemäß zu Abweichungen mit der derzeitigen kleinräumigen Nutzung oder der Bodenklasse führen. Im konkreten Anwendungsfall ist immer die dem betrachteten Standort nach Nutzung und Bodenform sicher zuzuordnende Klasse oder auch die weiter aggregierten Kollektive nach Nutzung, nach Bodenarten / Torf bzw. die Kombination daraus zu wählen.

Durch die Zuweisung der CLC2000-Kategorien der Sümpfe und Torfmoore zur Nutzungskategorie ‚Grünland‘ in Verbindung mit der Zusammenführung der BÜK 500-Flächen von Anmoor und Niedermoor mit Hochmoor werden Böden der Hochmoore in der Farbe der Auswertungsklasse 9 dargestellt. Für die Bodendeckung Laub- und Nadelwald nach CLC2000 werden, trotz der Einschränkung bezüglich der Bodenart (s. Tab. 1.3.2), AK 12 und 13 zur Farbgebung verwendet.

Es ist zu beachten, dass diese und andere Übertragungen der statistischen Informationen der Auswertetabellen auf nicht untersuchte und ausgewertete Böden und Merkmalskombinationen gemäß Anlage 2 nur zum Zwecke einer möglichst durchgängigen Kartendarstellung durchgeführt wurden und nicht durch Untersuchungen belegt sind. **Statistisch belastbar sind ausschließlich die in den jeweiligen Auswertetabellen aufgeführten Kennwerte der untersuchten Kollektive.**

Zu berücksichtigen ist zudem, dass urban überprägte und verkehrsnahen Flächen wie auch die Spülflächen sowie Überschwemmungsgebiete der Elbe u. a. Flüsse abweichende, meist höhere Hintergrundgehalte aufweisen können.

1.9 Hinweise zur Bewertung

Die Daten werden für jeden Parameter abschließend mit Vorsorgewerten und Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Pflanze verglichen.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV gelten für Böden mit Humusgehalten $\leq 8\%$.

Bei pH-Werten kleiner pH 6 bzw. pH 5 werden für die Elemente Cd, Ni und Zn, bzw. Pb je nach Bodenart niedrigere Vorsorgewerte wirksam – siehe im Einzelnen [Anlage 6](#).

Für den Vergleich mit den Vorsorgewerten der BBodSchV erfolgt für organische Stoffe die Beachtung der Humusgehalte über und unter 8 %.

Für die dargestellten Ergebnisse werden **gewichtsbezogene Angaben in mg/kg Trockenmasse (TM)** verwendet. Dadurch können Stoffgehalte, die Proben mit besonders hohem bzw. besonders niedrigem Volumengewicht entstammen, im Vergleich mit anderen unter- bzw. überbewertet werden. Dies kommt insbesondere bei Torf und dem Auflagehorizont unter Wald mit einer Trockenraumdichte von oft weniger als $0,5\text{ g/cm}^3$ zum Tragen. Bei der Anwendung der Vorsorgewerte für Metalle ist dies unproblematisch, da diese nur für Mineralböden mit bis zu 8 % Humusgehalt gelten. Für andere Bewertungen mit dem Bezug auf ‚mg/kg TM‘ ohne eine solche humusbezogene Anwendungsregel ist zum Erhalt eines vergleichbarem Risikoniveaus eine Volumenbetrachtung oder Verrechnung mit der Trockenraumdichte notwendig.

Für Böden über 8 % Humus werden hier **Vorsorge-Hilfswerte** verwendet (ARGUMENT 2009). Beim Vergleich der 95er-Perzentil- und Maximalwerte der Elemente mit den vorliegenden Daten Schleswig-Holsteins zeigt sich, dass die **Vorsorgewerte für Ton** bei den meisten Elementen in Böden mit Humusgehalten über 8% eingehalten werden. Zur Vereinfachung werden diese als Maßstab (**Vorsorge-Hilfswert-SH**) übernommen. Begründbar ist die Verwendung dieser höheren Werte durch das bei stark humosen und organogenen Böden hohe Volumen, dass notwendig ist um die gleiche Menge an Trockenmasse zu erhalten. Somit wird die dichtebedingte Erhöhung der Elementgehalte dieser Böden berücksichtigt und dennoch eine Grenze eingezeichnet, die ggf. besondere, über dem üblichen Niveau liegende Belastungen identifiziert. Darüber hinaus weisen Böden aus Ton und stark humose bzw. organogene Böden vergleichbare Bindungskapazitäten für Schadstoffe auf. Eine Unterschreitung des Vorsorge-Hilfswertes stellt analog zur Unterschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV die multifunktionale Nutzung der Böden sicher.

Zur Orientierung sind die Prüfwerte für den Pfad Boden-Mensch in der Anlage 6 aufgeführt.

2 Stoffgehalte und Stoffeinträge

2.1 Natürliche (geogene) Metallgehalte im Bodenausgangsgestein

Die natürlichen Metallgehalte im Boden werden vor allem durch das Ausgangsgestein bestimmt.

Es existieren verschiedene Untersuchungsansätze auf Bundes- und auf Landesebene diese Gehalte zu bestimmen. Nachfolgend sind die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen aus Schleswig-Holstein nach WIEGMANN (1999) dargestellt. Geogene Stoffgehalte werden in der Regel in tiefer liegenden, wenig durch Bodenbildung überprägten Bodenhorizonten ermittelt (häufig C-Horizonte) – die Daten von WIEGMANN wurden an Bodenmaterialproben aus einer Tiefe größer 1 m erhoben. In Schleswig-Holstein bilden meist eiszeitliche und nacheiszeitliche Sedimente das Ausgangsgestein dieser Horizonte. In der Vorgeest dominieren Schmelzwasser-, Flug- und Decksande, in der Hohen Geest sind diese häufig mit Geschiebelehm und -sandten verzahnt bzw. von diesen unterlagert. Das Östliche Hügelland wird überwiegend aus Geschiebelehm und -mergel aufgebaut. Die Marschen und die Elbaue werden schließlich von feinkörnigen Sedimenten des Meeres (,marin') und der Flüsse gebildet. In allen Hauptnaturräumen treten daneben organische Ausgangsgesteine, insbesondere Torfe auf. WIEGMANN ermittelte anhand von Bodenmaterialproben aus Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern die folgenden geogenen Metallgehalte:

Tab. 2.1.1: **Mediane** der natürlichen Metallgehalte norddeutscher Böden, differenziert nach Bodenarten in mg/kg TM, nach Königswasseraufschluss (WIEGMANN 1999, Tab. 6.5)

Bodenart	Arsen	Cadmium	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Blei	Zink
Sand	0,8	0,02	3,8	1,7	0,007	3,4	2,6	10,6
Lehm	3,5	0,13	15,2	9,4	0,038	14,5	7,3	37,9
Schluff	7,5	0,06	25,9	4,5	0,032	13,9	7,7	42,5
Ton	11,2	0,10	37,1	7,8	0,052	23,6	14,3	69,7

Neben dem Median sind die maximalen natürlichen Metallgehalte von Interesse. Die folgenden Maximalgehalte werden über das Dreifache der Standardabweichung bestimmt (+3 σ -Werte).

Tab. 2.1.2: **Maximale** natürliche Metallgehalte norddeutscher Böden, differenziert nach Bodenarten in mg/kg TM, nach Königswasseraufschluss (WIEGMANN, 1999, Tab. 6.7, +3 σ -Werte)

Bodenart	Arsen	Cadmium	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Blei	Zink
Sand	6,1	0,20	18,7	11,3	0,067	14,9	9,3	43,6
Lehm	7,4	0,34	32,9	19,7	0,322	28,6	17,1	67,6
Schluff	17,3	0,37	46,7	13,1	0,224	28,1	17,4	88,8
Ton	22,8	0,51	61,5	17,0	0,409	41,9	26,0	123,9

Die geogenen Gehalte werden durch bodenbildende Prozesse überprägt. Es sind An- und Abreicherungen zu erwarten: Durch Lösung oder durch Verlagerung von Bodenbestandteilen (z. B. Tonverlagerung) im Zuge der Verwitterung können die Metalle aus den oberen Dezimetern in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Es ist zu erwarten und zu beobachten, dass die Elementgehalte im Oberboden dann niedriger sind als die o. g. natürlichen Metallgehalte. Eine natürliche Anreicherung ist z. B. die Folge, wenn Pflanzen Schwermetalle aus tieferen Bodenschichten aufnehmen, diese Stoffe mit der abgestorbenen Pflanzenmasse auf den Oberboden gelangen und dort festgelegt werden. Stoffausträge durch die Ernte landwirtschaftlicher Nutzpflanzen tragen zu einer Verminderung der natürlichen Gehalte bei.

Ein Austrag aus dem ‚System Boden‘ findet ebenfalls durch den Transport von Stoffen mit dem Sickerwasser in das Grundwasser statt. Beschleunigt wird dieser Prozess insbesondere durch niedrige pH-Werte, da viele Stoffe dann mobilisiert und verlagert werden. Darüber hinaus finden Austräge aus dem System Boden und Einträge in Oberflächengewässer durch lateralen Wasserabfluss und durch Dränagen statt. Aus all diesen Gründen kann die Einbeziehung geogener Stoffgehalte lediglich der Orientierung dienen.

Die hier ermittelten Hintergrundgehalte werden u. a. auch mit den Medianen des „**Geochemischen Atlas von Deutschland**“ verglichen (BGR 2006). An Hand der Stoffgehalte in Sedimenten und Wasser möglichst unbeeinflusster Bäche wird bei dieser bundesweiten Untersuchung auf natürliche (geogene) Gehalte des

Untergrundes des entsprechenden Einzugsgebietes geschlossen. Es ist zu beachten, dass dort Daten von Totalaufschlüssen präsentiert werden (s. Kap. 1.4).

2.2 Metallhaltige Stoffeinträge

Schwermetalle und das Halbmetall Arsen sind natürliche Bestandteile von Mineralen, also auch von Gesteinen und Böden, wenn auch in sehr unterschiedlichen Konzentrationen. Als wichtiger Rohstoff für die Herstellung vieler Wirtschaftsgüter werden schwermetallhaltige Minerale vom Menschen in großen Mengen abgebaut, großräumig umgelagert und verarbeitet. Auf dem Weg ihrer Verarbeitung gelangen sie in die Umwelt - sei es z. B. durch Abspülungen als Folge einer ungeschützten Lagerung von Roherzen, durch flächenhafte Ausbringung von metallhaltigen Schlämmen (Klärschlämmen) und Düngemitteln (Mineral- und Wirtschaftsdünger), durch Emissionen bei Verbrennungsprozessen (Hausbrand, Verkehr, Industrie) und den damit verbundenen atmosphärischen Einträgen in die Böden oder auch durch Einleitung schwermetall- und arsenhaltiger Abwässer in Gewässer, die dann bei Überschwemmungen oder Ausbaggerungen auch auf den Boden gelangen können. Eine natürliche Verfrachtung von Schwermetallen und Arsen erfolgt beispielsweise über Erosions- und Sedimentationsprozesse, Verwehungen und Waldbrände.

2.2.1 Direkte Stoffeinträge

Ein wichtiger Eintragspfad von Schadstoffen in landwirtschaftlich genutzte Böden Schleswig-Holsteins (ca. 1 Mio. ha, davon waren 2007 ca. 0,65 Mio. ha Ackerland und 0,35 Mio. ha Grünland) stellt der direkte Stoffeintrag in den Boden über Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Kompost, Klärschlamm und Pflanzenschutzmittel etc. dar. Zur Abschätzung dieser Einträge werden nachfolgend einige wenige grundsätzliche Daten wiedergegeben. Mengenmäßig am bedeutsamsten sind Hauptnährstoffdünger, die den durch die Ernte verursachten Stoffverlust im Boden ausgleichen sollen.

Neben den erwünschten Nährelementen Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) enthält eine Vielzahl von Düngemitteln auch unerwünschte Mengen an anorganischen Schadstoffen.

DAHLHAUS et al. (2002) beschreibt anhand eines Stoffstrommodells die mittleren Schwermetalleinträge durch Phosphat-Düngemittel für den Fall, dass ein mittlerer jährlicher Phosphat-Entzug von 75 kg/ha zu 100 % durch das jeweilige Düngemittel ausgeglichen würde – es handelt sich dabei um theoretische Eintragszahlen. Bei Grüngutkompost übersteigt der so errechnete Wert wegen des geringen P-Gehaltes des Kompostes die maximal zulässige Ausbringung von 10 t/ha*a.

Die Tabelle verdeutlicht, dass eine solche Betrachtung zu Maximalfrachten bei den Sekundärrohstoffdüngern führt, die im Vergleich mit den Frachten der BBodSchV als hoch einzuschätzen sind (BBodSchV als Vergleichsgröße, rechtsverbindlich sind AbfklärV, BioAbfV). Auch die Wirtschaftsdünger weisen erhöhte Kupfer- und Zinkgehalte auf, die auf und in den Boden gelangen können.

Tab. 2.2.1: Mittlere theoretische Schwermetalleinträge durch Phosphat-Düngemittel in g/ha*a bei hundertprozentigem Ersatz eines mittleren P₂O₅-Entzuges von 75 kg/ha*a u. mittlerer Düngemittelqualität (DAHLHAUS et al. 2002)

Düngemittel	Aufwandmenge t/ha*a (TM)	Blei	Cadmi- um	Chrom	Kupfer	Nickel	Queck- silber	Zink
Mineraldünger								
Superphosphat	0,2	4	2,3	24	4	6	n.b.	50
Thomasphosphat	0,4	4	0,2	740	13	9	0,02	24
PK-Dünger	0,5	7	3,9	93	9	10	0,04	74
NPK-Dünger	0,6	9	2,3	28	7	7	0,04	72
Wirtschaftsdünger								
Rindergülle (Milchvieh)	3,4	26	1	25	151	20	0,2	917
Rinderfestmist	4,2	25	1,2	55	166	22	0,13	807
Schweinegülle	1,7	11	0,7	16	525	17	0,03	1.460
Schweinefestmist	2,0	10	0,7	21	899	19	0,1	2.130
Sekundärrohstoffdünger (Mittelwerte)								
Klärschlamm	1,5	69	0,9	40	675	26	1,2	741
Bioabfallkompost	9,7	392	3,9	178	396	73	1,2	1.500
Grüngutkomposte	13,6	625	6,9	258	584	136	1,9	2.190
Zulässige Jahresfrachten (BBodSchV)		400	6	300	360	100	1,5	1200

2.2.2 Einträge über den Luftpfad

Bei Verbrennungs- und anderen Prozessen (z. B. Reifenabrieb) gelangen Schadstoffe in die Umwelt, die als Staub oder z. B. mit dem Regen flächig auf Böden verteilt werden. Einträge über den Luftpfad werden als Deposition bezeichnet. Man unterscheidet trockene und nasse (Niederschlag, Nebel, Tau, Reif) Deposition. Die Lufthygienische Überwachung Schleswig-Holstein (LÜSH) (heute LLUR) betreibt ein repräsentatives Messnetz u. a. mit Untersuchungen zu Schwermetallen und Arsen im Staubbiederschlag. Für die Einordnung der Gesamtdeposition (Bergerhoff-Verfahren) wurden an dieser Stelle die Werte aus Bornhöved herangezogen, da sie für große Flächenanteile Schleswig-Holsteins als repräsentative ländliche Hintergrundwerte angesehen werden können. Zur Vergleichbarkeit wurden die Messwerte auf jährliche Einträge in Gramm pro Hektar umgerechnet. Die Zeitreihen zeigen, bezogen auf 1994, einen deutlichen Rückgang bei Blei und teilweise bei Arsen. Dies ist im Zusammenhang mit dem Bleiverbot in Kraftstoffen zu sehen. Für die übrigen Stoffe lässt sich kein eindeutiger Trend ableiten.

Tab. 2.2.2: Gesamtdeposition für Metalle an der Station Bornhöved, Jahresmittelwert in g/ha*a

Jahr	Arsen	Blei	Cadmium	Kupfer	Nickel
1994	2.44	137	1.14	-	5.8
1995	1.59	61	0.67	17	5
1996	0.8	39	0.4	12	3.1
1997	1.11	36	0.54	14	5.5
1998	0.89	37	0.96	20	7.5
1999	0.71	49	0.53	22	5.9
2000	0.76	44	0.55	16	5.1
2001	1.27	33	0.6	13	3.1
2002	1.21	32	0.48	14	3.8
2003	1.21	34	1.06	12	5.9
2004	0.74	36	0.75	13	6.1
2005	1.19	33	1.28	13	5.6
2006	1.29	27	0.82	15	5
2007	0.89	26	0.88	13	6
2008	0.66	15	0.59	13	4.7
2009	0.72	7	0.42	13	4.1

Zur Einordnung sind nachfolgend Werte einer bundesweiten Auswertung für den ländlichen Raum aufgeführt (UBA 2008). Es zeigt sich, dass die Größenordnungen der Depositionswerte an der Station Bornhöved mit denen des Bundesgebietes vergleichbar sind. Deutlich wird auch, dass über den Luftpfad durchaus relevante Schadstoffeinträge als Jahresfrachten ermittelbar sind.

Tab. 2.2.3: Bundesweite Gesamtdeposition für Metalle im ländlichen Raum in g/ha*a

	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Hg	Zink
Median	1,0 / 2,1	22 / 29	0,55 / 0,86	4,0 / 5,5	19 / 44	6,6 / 7,4	0,05 / -	128 / 250
90er Perzentil	2,5 / 6,0	56 / 69	1,2 / 1,4	11 / 16	65 / 69	17 / 17	- / -	442 / 514
Zulässige Jahresfrachten gemäß BBodSchV Anhang 2,	-	400	6	300	360	100	1,5	1200

Messergebnisse links vom Strich (/) als Summe aus trockener Deposition und Niederschlag sowie rechts vom Strich abgeleitete typische Eintragswerte als Summe aus trockener und nasser Deposition (UBA 2008, Tab. C61 und C69)

2.3 Organische Stoffeinträge

Das Vorkommen der betrachteten organischen Schadstoffe in den Oberböden ist größtenteils durch menschliches Handeln verursacht, sei es durch direkten Stoffeintrag z. B. als Betriebsmittel (Pestizide, Hilfsstoffe, Dünger etc.) oder durch indirekte Einträge über den Luftpfad. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe können auch durch Brände auf und in den Oberboden gelangen. Durch biogene Prozesse können beispielsweise spezifische chlorierte Kohlenwasserstoffe im Boden gebildet werden (LATURNUS et al. 2005); bei den hier untersuchten Verbindungen ist jedoch davon auszugehen, dass diese durch anthropogene Prozesse in die Umwelt und auf den Boden gelangt sind. Als direkte Eintragsquellen bezüglich der betrachteten Stoffklassen sind vor allem Sekundärrohstoffdünger (Komposte und Klärschlamm) zu nennen. Auch Gülle und Mineraldünger enthalten z. B. PAK, allerdings in geringeren Mengen.

Tab. 2.3.1: Organika in Düngemitteln (UBA 2007, FEHRENBACH et al. 2002)

		Einheit	Mineraldünger	Gülle	Kompost	Klärschlamm
Summe PAK ₁₆	Mittelwert	µg/kg TM	62	67	1466	4300
Summe PCB ₆	Mittelwert	µg/kg TM	1	4	20	98
PCDD/F	Mittelwert	ng I-TEq/kg TM	-	-	-	36

Über den Luftpfad erfolgen indirekte Einträge auf und in den Boden. Dabei gelangen die organischen Verbindungen maßgeblich über Verbrennungsprozesse in die Atmosphäre und werden flächig abgelagert. Belastbare Daten zu Stofffrachten über die Atmosphäre liegen lediglich für einige wenige Stoffgruppen vor.

Tab. 2.3.2: Bundesweite Gesamtdeposition für Organika im ländlichen Raum (Staub und Niederschlag, UBA 2008, C71-74)

		Einheit	atmosphärischer Eintrag
Summe PAK ₁₆	Mittlere Frachten	q/ha*a	2,7
BaP	Mittlere Frachten	q/ha*a	0,10
Summe PCB ₆	Mittlere Frachten	q/ha*a	17,3
PCDD/F	Mittlere Frachten	µg I-TEq/ha*a (NATO/CCMS)	11,4

Die an der Station Bornhöved im Zeitraum Juni-Dezember 2008 durchgeführte Depositionsmessung auf PCDD/PCDF weist mit durchschnittlich 5,8 µg I-TEq/ha*a (unter Berücksichtigung der Kongenere < BG mit voller Bestimmungsgrenze wie UBA 2008) auf eine im Vergleich mit dem vom UBA genannten bundesweiten Eintragswert aus den Jahren 1999 bis 2002 eher geringeren luftgetragenen Eintrag mit PCDD/PCDF hin. Möglich sind auch diffuse Einträge über Abwässer, deren Inhaltsstoffe sich im Sediment ablagern, welches dann als Bagger- oder Spülgut auf die Böden gelangen kann. Dafür können allerdings keine belastbaren Daten genannt werden. Einträge im Zusammenhang mit Überflutungen der Elbe werden nicht im Rahmen des Polygonkonzeptes dargestellt, vergleichende Betrachtungen finden sich bei ARGUMENT 2009.

2.4 Stoffeinträge und pH-Wert Verteilung

Die pH-Werte der Böden werden durch direkte (z. B. Erhaltungskalkung) wie indirekte Stoffeinträge („saurer Regen“) und Bodenbildungsprozesse beeinflusst. Bei der Beurteilung der Metallgehalte im Boden wird auf den Einfluss des pH-Wertes in Abhängigkeit von Bodenarten und Nutzung eingegangen. Aus dem Datenkollektiv des Polygonkonzeptes sind folgende pH-Mittelwerte und Spannen abzuleiten:

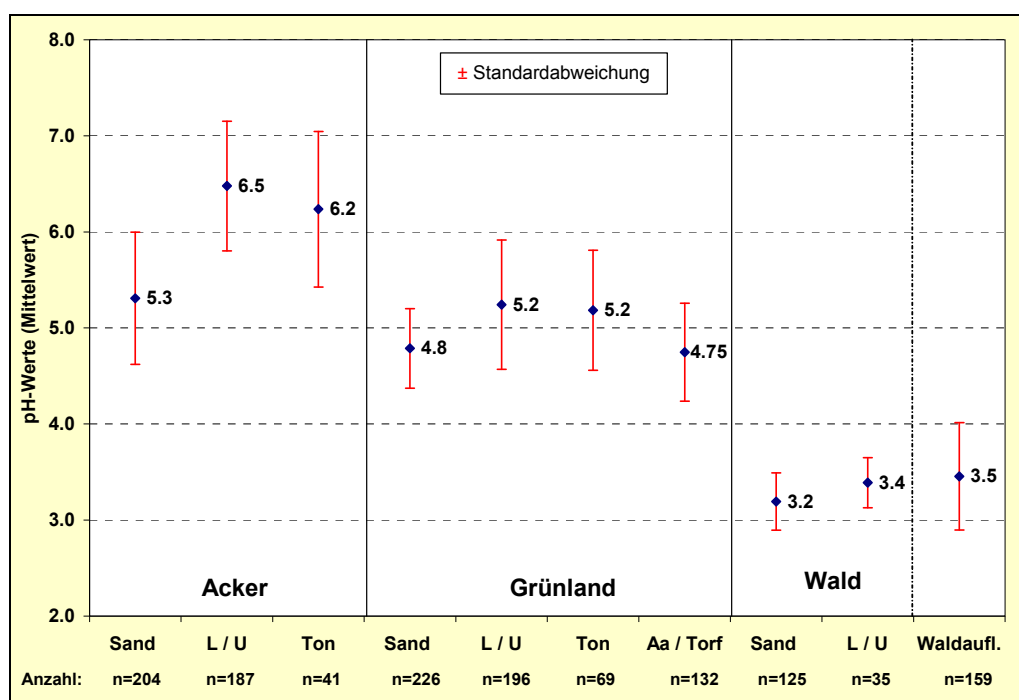


Abb. 2.4.1: pH-Mittelwerte und -Spannen bei Böden verschiedener Nutzungen und Bodenarten (L / U = Lehm / Schluff)

3 Metalle - Auswertungsergebnisse des Polygonkonzeptes

3.1 Arsen (As)

Arsen (Hauptgruppe Va, Ordnungszahl 33, Atommasse 74,9 u, spezifisches Gewicht 5,73 g/cm³, 52. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) kommt in einer Vielzahl von Mineralen als Arsenat vor. Arsen zeigt ein dem Phosphor ähnliches chemisches Verhalten und kommt natürlicherweise und im Boden insbesondere in den Oxidationsstufen 3+ und 5+ vor.

Arsen wird vor allem als Bestandteil von Katalysatoren, als Zusatz für Korrosionsschutzmittel, in Holzschutzmitteln, in der Keramik- und Glasindustrie und als Legierungsbestandteil verwendet.

In die Böden gelangt Arsen vor allem auf dem Luftpfad (Verbrennungsprodukt von Steinkohle), lokal können aber auch arsenhaltige Klärschlämme und Holzschutzmittel von Bedeutung sein.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Arsen in g/ha*a	50er-Perz. min.	90er-Perz. max.
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	2,1	6,0
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	-	-
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	1,0	1,7
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	4,4	8,0
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	0,76	3,9
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	1,1	1,3
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	2,6	5,0

* für Arsen konnten keine Werte zu nasser oder trockener Deposition im Forst recherchiert oder abgeleitet werden.

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Arsen kommt im Boden vor allem als Sulfid und Arsenit oder Arsenat in natürlicher Form vor. Im Boden wird Arsen stark an Eisenoxide und in etwas schwächerer Form an Aluminiumoxide und Tonminerale gebunden. Die reduzierte dreiwertige Form ist vier- bis zehnmal löslicher als die oxidierte fünfwertige Form. Die Pflanzenverfügbarkeit und damit die toxische Wirkung auf Pflanzen nimmt mit **zunehmender Löslichkeit im versauerten Boden** zu, insbesondere **< pH 4,5**. Die Wirkung zeigt sich in einer Abnahme der Wassertransportfähigkeit, zudem wird die Keimung der Samen gestoppt. Zu den empfindlichsten Pflanzen gehören Bohnen und andere Leguminosen. Arsen führt bei Mikroorganismen zu Hemmungen der Stickstoff-Fixierung sowie der Dehydrogenase- und Phosphataseaktivität.

Arsen kann in der Nahrungskette angereichert werden. Bei den möglichen gesundheitsschädlichen Wirkungen für den Menschen durch Arsen steht dessen erwiesene krebserzeugende Wirkung im Vordergrund.

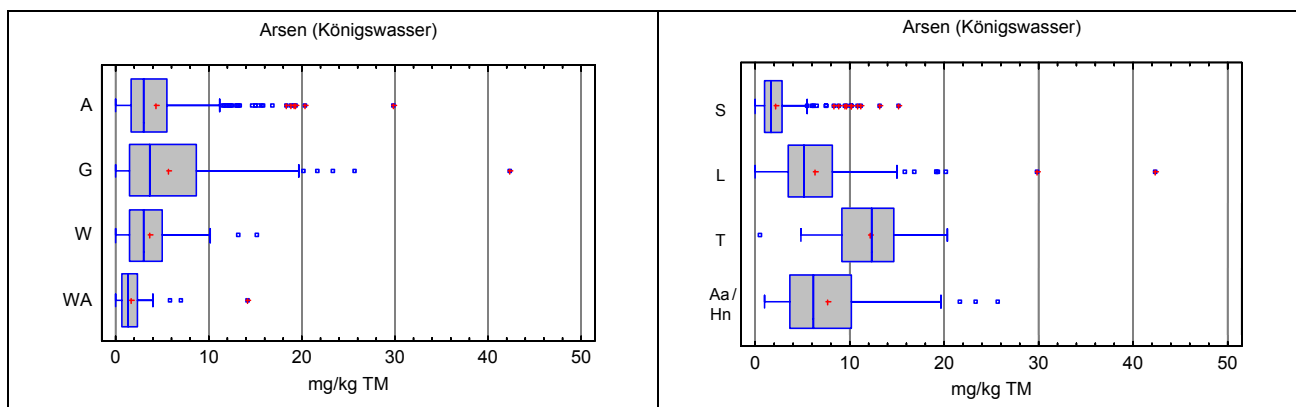
Auswertung

Arsen wurde an 749 Standorten des Polygonkonzeptes im Königswasserextrakt bestimmt (an 56 auch die Waldauflage). Von 805 Analysen überschritten 760 die jeweilige Bestimmungsgrenze.

Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze, der Maximalwert befindet sich an einem organogenen Grünlandstandort und beträgt 42,3 mg/kg TM. Der Median des Gesamtdatensatzes liegt bei 3,06 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 4,63 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 10,9 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 14,2 mg/kg TM.

Der Gesamtdatensatz ohne Waldauflagen weist durchgängig höhere statistische Kennwerte auf, da die beprobten Waldauflagen im Vergleich zu den übrigen Kollektiven der mineralischen Oberböden sowohl beim Median, wie bei den 75er- und 90er-Perzentilen die jeweils niedrigsten Arsen-Gehalte aufweisen. Dies kann neben den geringen mineralischen Anteilen mit den geringen pH-Werten der Waldauflagen erklärt werden. Mit 3,62 mg/kg TM weisen Grünlandböden den höchsten Median der Kollektive nach Nutzungen auf.

Die Arsengehalte der Kollektive nach Bodenarten sind deutlich differenziert und nehmen von Sand, mit dem niedrigsten Arsen-Median (1,72 mg/kg TM) über Lehm / Schluff (Median von 5,20 mg/kg TM) bis Ton (Median von 12,4 mg/kg TM) zu. Das geringe Bindungsvermögen insbesondere bei Sand ist hier als Ursache anzusehen.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage

S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf

Abb. 3.1.1: Verteilung der Arsengehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.1.1: Hintergrundwerte Arsen (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		805	3,06	6,32	10,9	14,2	42,3
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		749	3,30	6,95	11,3	14,5	42,3
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		359	3,07	5,58	10,3	13,0	29,9
Grünland		319	3,62	8,73	13,3	15,9	42,3
Wald		71	2,94	4,93	7,53	10,1	15,1
Waldauflage		56	1,36	2,30	3,21	5,90	14,1
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	367	1,72	2,76	3,94	5,33	15,1
	Lehm / Schluff	257	5,20	8,23	10,6	13,6	42,3
	Ton	59	12,4	14,7	16,7	18,4	20,4
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	188	1,85	2,77	3,77	4,49	11,2
Grünland	Sand	121	1,22	2,27	3,24	3,91	9,52
Wald	Sand	58	2,52	4,32	8,91	10,1	15,1
Acker	Lehm / Schluff	144	4,52	7,48	10,3	12,95	29,9
Grünland	Lehm / Schluff	100	7,01	9,04	11,8	14,45	42,3
Wald	Lehm / Schluff	13	4,76	5,47	6,29	-	6,32
Acker	Ton	27	12,1	14,7	18,4	18,9	20,4
Grünland	Ton	32	13,1	14,7	16,3	16,7	18,2
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	66	6,23	10,1	15,5	19,6	25,7
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	34	6,83	11,7	18,7	22,7	25,7
Klassen (AK) 1 – 13 * Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-1) 103	3,61	4,18	5,28	5,62	8,23
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	82	2,22	2,95	3,71	3,92	5,92
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	(-1) 85	1,23	1,81	2,83	3,94	6,14
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	33	10,9	12,5	16,9	18,9	19,3
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	54	7,55	10,6	14,7	15,8	20,4
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-2) 50	3,32	3,81	5,38	7,04	9,63
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 39	1,54	2,53	3,28	3,98	4,17
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	(-1) 66	0,80	1,15	1,97	2,52	3,19
9- Grünland	BK 4 (Anmoor / Torfe)	70	5,70	9,82	15,9	19,6	25,7
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	55	10,4	13,8	16,2	16,7	19,2
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	7,79	9,72	13,4	14,7	20,2
12- Laubwald	Diverse	35	4,33	5,54	7,57	9,72	10,1
13- Nadelwald	Diverse	36	2,13	3,50	6,54	13,2	15,1

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrößen.

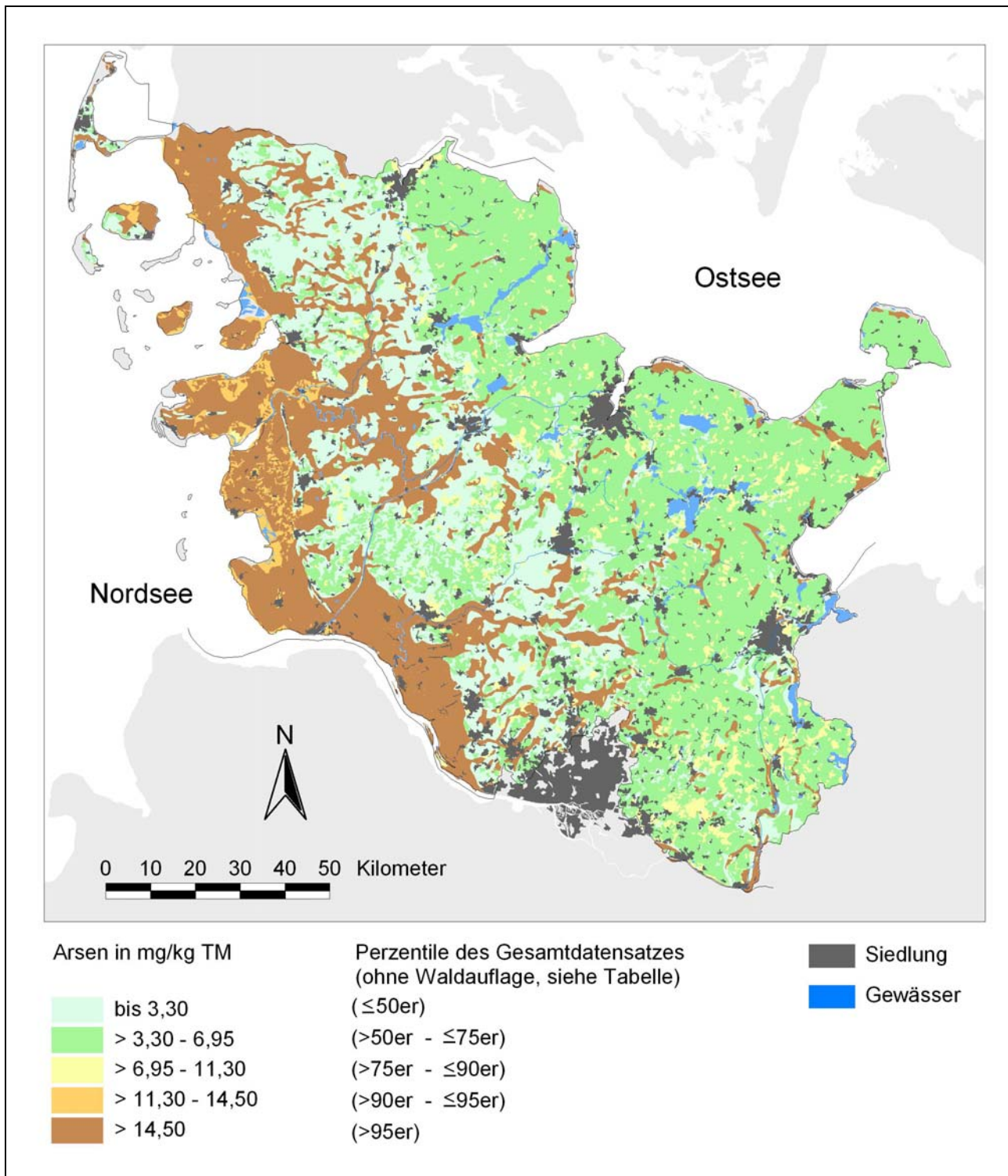


Abb. 3.1.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Arsen (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich weisen die Marschen sowie die An- und Niedermoore (AK 9) bei den dargestellten 90er-Perzentilen die höchsten Arsengehalte auf. Bei den Marschen betrifft dies den Großteil des Kollektivs – auch die Mediane der Marschböden sind gegenüber den anderen Bodenformen deutlich erhöht. Insgesamt sind bei den Marschen geogene Grundlasten als Ursache anzusehen. Die Geeststandorte weisen überwiegend geringere bis sehr geringe (hellgrün) Arsengehalte auf. Auch das Östliche Hügelland wird durch geringe Arsengehalte (grün) gekennzeichnet.

Dass bei den Auswertungsklassen keine 90er-Perzentile zwischen 8-13 mg/kg Arsen auftreten, verdeutlicht das starke Auseinanderdriften der Auswertungsklassen (vgl. das fast völlige Fehlen der Farben gelb/ocker).

Die höheren Arsengehalte von Marschboden in Schleswig-Holstein (90er-Perzentile meist > 14,5 mg/kg TM, Mediane der BK 5/6: 7,55 – 10,9 mg/kg TM) korrespondieren mit den statistischen Daten der BGR (2006); danach weisen alle norddeutschen Marschen mit einem Median von 11,1 mg/kg (Einschränkung: n = 16) gegenüber dem Median des bundesdeutschen Gesamtdatensatzes von 8,39 (n = 945) auf höhere Arsengehalte im marinen Ausgangsgestein hin. Noch deutlicher drückt sich die erhöhte Arsengrundbelastung in hohen As-Konzentrationen der Oberflächengewässer der Marschen aus (BGR 2006).

Bewertung der Messergebnisse für Arsen

Für Arsen existieren keine bundesweit rechtsverbindlichen, vorsorgebezogenen Bodengrenzwerte. Weder in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), noch in der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) noch in der Bioabfallverordnung (AbfBioV) wurde ein Wert festgelegt.

Für die folgende Bewertung wurden **Vorsorgewert-Vorschläge für Arsen** aus dem Jahr 1997 wieder aufgegriffen und als Bewertungshilfe verwendet. Dabei wurde geprüft, ob die im Rahmen der Vorarbeiten zur Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ehemals vorgesehenen Vorsorgewerte (BACHMANN et al. 1997) zur Anwendung geeignet sind. Die Werte sind u. a. wegen der Nähe zu Hintergrundgehalten nicht in die Verordnung übernommen worden. Die damals vorgeschlagenen Werte sind deckungsgleich mit den Z0-Werten der TR Boden (LAGA 2004).

Vorsorgewert-Vorschlag 1997 Arsen – Sand	10 mg/kg TM
Vorsorgewert-Vorschlag 1997 Arsen – Lehm/Schluff	15 mg/kg TM
Vorsorgewert-Vorschlag 1997 Arsen – Ton	20 mg/kg TM

Da der 95er-Perzentilwert der Sande deutlich und die 95er-Perzentilenwerte bei Lehm / Schluff sowie Ton knapp eingehalten werden und damit der o. g. Vorbehalt der grundsätzlichen Kollision mit Hintergrundgehalten hier nicht besteht, werden die damals gewählten Größen für schleswig-holsteinische Böden mit ≤ 8 % Humus zur weiteren Anwendung empfohlen.

Zu beachten ist der Vorbehalt nach BACHMANN et al. (1997), der auf den geringen Abstand zu der Wirkungsschwelle von Arsen bei der direkten oralen Aufnahme (Wirkungspfad ‚Boden-Mensch‘, dauerhafte Exposition von Kleinkindern mit Boden im ungünstigsten Fall) hinweist (s. a. die ergänzenden Ableitungsgrundsätze zur Begründung des Prüfwertes für Kinderspielflächen von 25 mg/kg TM bei BACHMANN et al. 1999).

Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen** von 20 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.1.2: Vorsorge-Hilfswerte für Arsen, Anzahl der Überschreitungen (graues Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Bodenarten	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
Arsen Werte-Überschreitungen	20	1	15	5	10	2	20	4 / -

Insgesamt werden an 8 Standorten die vorgeschlagenen Vorsorgewerte für Böden bis 8 % Humusgehalt nicht eingehalten, wobei die Überschreitungen bei Ton und Lehm / Schluff (die fünf Überschreitungen betreffen Marschböden) größtenteils als geogen bedingt einzustufen sind.

Bei Humusgehalten über 8 % finden sich vier Überschreitungen des vorgeschlagenen Vorsorge-Hilfswertes-SH. Es handelt sich jeweils um Grünlandstandorte. An drei dieser Standorte wurde Niedermoor angetroffen. Ein offensichtliches Muster ist nicht zu erkennen.

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ist ein Prüfwert bezüglich Ackerbauflächen und Nutzgarten von 200 mg/kg sowie ein Maßnahmenwert bezüglich Grünlandflächen von 50 mg/kg für Arsen (KW) enthalten – diese Wert werden bei allen beprobten Standorten eingehalten.

Diese und weitere Beurteilungswerte der BBodSchV sind in Anlage 6 enthalten.

3.2 Blei (Pb)

Blei (Hauptgruppe IVa, Ordnungszahl 82, Atommasse 207,2 u, spezifisches Gewicht 11,34 g/cm³, 24. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) ist Bestandteil zahlreicher Minerale, vor allem von Bleiglanz, Weiß-, Rot- und Gelbbleierz sowie Anglesit.

Blei wird in der Industrie (Batterien, Kabel und Gussteile) in der Glas- und Keramikherstellung, in Druckereien und in der Farbindustrie (Rostschutz) benötigt. Von den 389.000 Tonnen, die 2007 in Deutschland verarbeitet wurden, wurden 71 % für Akkumulatoren / Batterien, 12 % in der Glasindustrie und Chemie sowie 15 % für die Produktion von Halbzeug verwendet.

Als wichtigster Kontaminationspfad für die Böden war bis zur Umsetzung des Benzin-Blei-Gesetzes 1995 der Eintrag von Blei aus der Luft (Emissionen aus dem Kfz-Verkehr, Staubniederschläge, Aerosole) anzusehen (THORNTON 1990). Seitdem sinken die Bleigehalte im Staubniederschlag deutlich. So nahm der Gehalt an der Station Bornhöved von 146 g/ha*a 1994 über 73 g/ha*a 1995 auf dann konstante 32-37 g/ha*a in den folgenden Jahren ab (siehe auch Kap. 2.2). Auch Blei-Einträge durch Klärschlammasbringung, Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Kompost sind von Bedeutung. Stark erhöhte Blei-Gehalte finden sich vor allem in anthropogen belasteten Gebieten (Sedimente von belasteten Flüssen, städtische Gartenböden und nach wie vor in Böden der Straßenränder).

Im Rahmen eines UBA-Forschungsprojektes wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Blei in g/ha*a	50er-Perz. / min.	90er-Perz. / max.
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	29	70
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	51	124
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	4,2	8,8
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	48	87
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	1,8	10
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	8,1	9,3
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	8,7	11

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Die Löslichkeit von Blei wird hauptsächlich vom pH-Wert, den Redoxbedingungen, dem Stoffbestand der Böden (v. a. Huminstoffe haben starke Affinität gegenüber Blei), von Tonmineralart und -gehalt sowie Phosphatgehalt beeinflusst. Blei wird im Boden stark gebunden, bei pH-Werten > 5,5 ist eine sehr geringe Löslichkeit gegeben (WILKE 2010). Die Verfügbarkeit nimmt mit sinkendem pH zu, bei **pH < 4 geht Blei verstärkt in Lösung**. Blei reichert sich durch natürliche wie auch vom Menschen verursachte Prozesse im Boden an. Nur ein kleiner Teil ist wasserlöslich, austauschbar oder pflanzenverfügbar. Die Anreicherung von Blei im Oberboden ist von großer ökologischer Bedeutung, da hohe Bleigehalte die Mikroorganismenaktivität hemmen. So führen bereits geringe Bleigehalte zur Hemmung der mikrobiellen Bodenatmung. Starke Anreicherungen in Pflanzen treten vor allem bei stark sauren Böden auf. Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum sind auch bei geringeren Bleigehalten vor allem in natürlichen Ökosystemen möglich. Bei einer Konzentration unter 100 mg/kg TM kann ein Transfer in Nahrungspflanzen sicher ausgeschlossen werden.

Auswertung

Blei wurde an 756 Standorten im Königwasserextrakt bestimmt (an 55 auch die Waldaufgabe); alle 811 Analysen überschritten die jeweilige Bestimmungsgrenze.

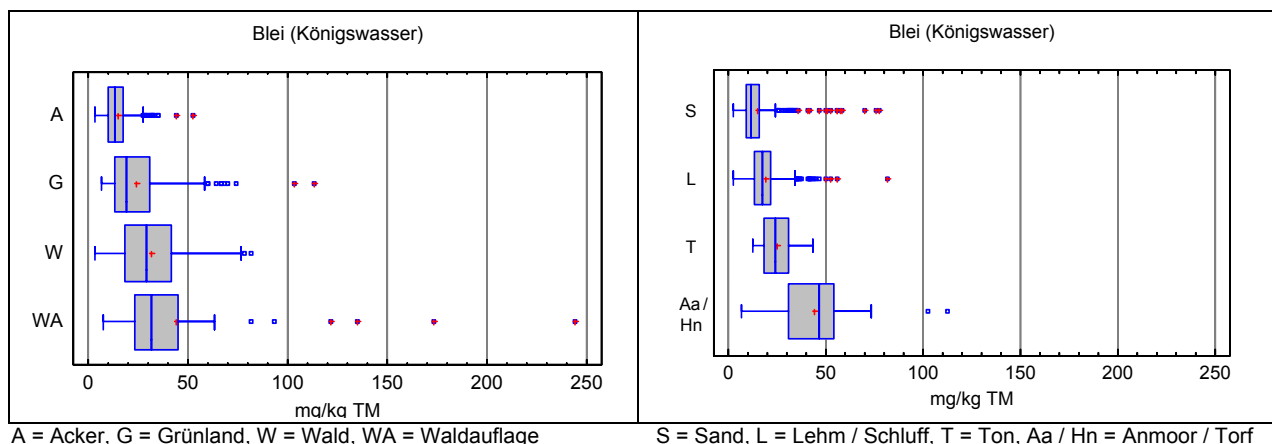
Der Minimalwert liegt bei 3,25 mg/kg TM und der Maximalwert befindet sich in einer Waldaufgabe bei 244 mg/kg TM. Der Median beträgt 16,4 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert 22 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert 42,9 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert 52,1 mg/kg TM. Die beprobten Ackerböden weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten Blei-Gehalte auf.

Der höchste Median mit 31,6 mg/kg TM ist in Auflagehorizonten im Wald zu finden.

Im Waldboden ist gegenüber den anderen Nutzungen ebenfalls ein deutlich erhöhtes Niveau festzustellen, ein Indikator für den luftgetragenen Eintrag von Blei in Verbindung mit dem Auskämmeffekt von Blattlaub

und Nadeln (im Gegensatz z. B. zu Chrom, s. Auswertung dort).

Die beprobten Böden aus Sand weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten und Niedermoortorf die höchsten Bleigehalte auf.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage

S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf

Abb. 3.2.1: Verteilung der Bleigehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.2.1: Hintergrundwerte Blei (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		811	16,4	26,1	42,9	52,1	244
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		756	15,6	24,1	38,1	50,6	113
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		359	13,7	17,2	21,6	26,6	52,6
Grünland		326	19,4	31,2	48,4	55,6	113
Wald		71	29,0	42,0	56,5	70,0	81,7
Waldauflage		55	31,6	45,2	81,5	135	244
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	367	12,4	16,1	24,9	33,9	78,3
	Lehm / Schluff	258	17,6	22,2	32,6	41,1	81,7
	Ton	60	25,0	30,9	35,7	39,3	44,0
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	188	11,2	14,9	17,7	19,3	35,2
Grünland	Sand	121	12,1	14,6	17,3	20,1	35,4
Wald	Sand	58	25,5	36,1	56,6	70,0	78,3
Acker	Lehm / Schluff	143	15,1	18,5	22,2	26,8	52,6
Grünland	Lehm / Schluff	102	20,4	25,5	35,3	41,8	56,2
Wald	Lehm / Schluff	13	38,1	42,5	44,4	-	81,7
Acker	Ton	28	21,5	26,3	28,9	32,7	44,0
Grünland	Ton	32	29,7	34,9	35,9	42,0	42,9
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	47,1	54,6	63,8	70,4	113
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	35	48,5	57,2	70,8	105	113
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	104	14,9	17,5	21,1	26,2	31,7
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	81	13,5	16,5	19,3	22,4	35,3
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	(-1) 85	9,7	11,4	15,0	16,2	20,8
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	34	19,8	24,6	28,1	28,9	32,7
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-2) 52	13,8	18,3	21,3	24,1	33,6
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-1) 51	18,1	21,4	26,3	28,4	32,4
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	40	13,0	14,8	19,7	21,2	27,5
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	67	10,8	13,7	16,5	17,3	24,7
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	75	44,9	54,3	63,8	70,4	113
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	57	25,5	31,8	37,3	42,9	50,5
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	19,7	27,6	35,4	41,8	56,2
12- Laubwald	Diverse	35	33,9	44,4	58,5	78,3	81,7
13- Nadelwald	Diverse	36	23,8	33,7	51,4	57,8	76,6

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv n < 20 ! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**). Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

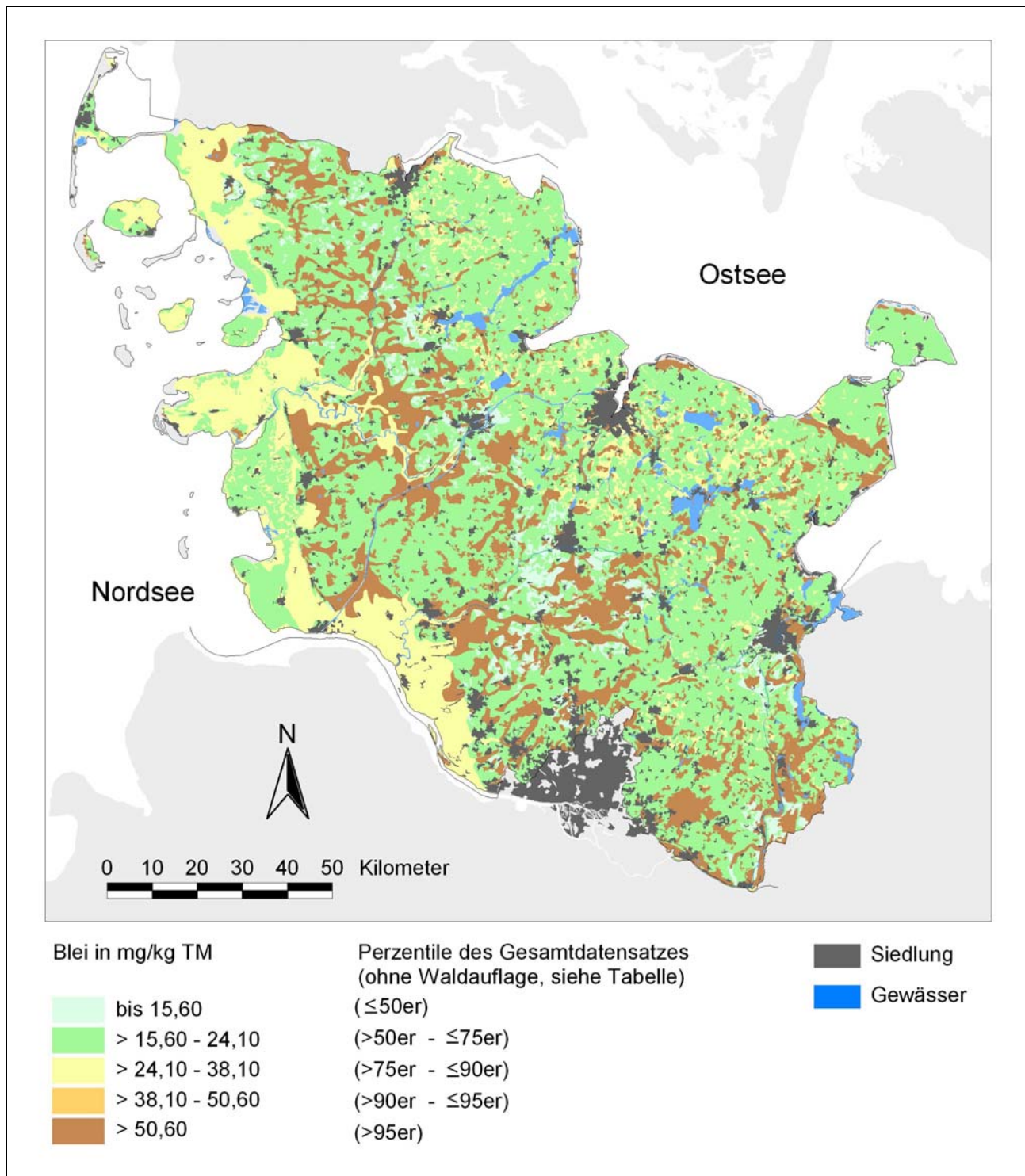


Abb. 3.2.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Blei (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich sind die An- und Niedermoore (AK 9) sowie die Waldböden durch ein höheres Niveau der Bleigehalte bei den dargestellten 90er-Perzentilwerten gekennzeichnet. Die Bleigehalte der Marschböden liegen bei Grünlandnutzung nur geringfügig unterhalb des 90er-Perzentils des Gesamtdatensatzes (gelb).

Die Geeststandorte und das Östliche Hügelland weisen überwiegend niedrige Bleigehalte auf.

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass mit den Ton- und Schluffanteilen, aber auch der organischen Substanz (Humusgehalt) die Bleigehalte steigen.

Wälder weisen, wie oben ausgeführt, im Boden in der Regel höhere Bleigehalte auf als Grünland und Acker.

Insgesamt liegen die Bleigehalte mit einem Median von 15,6 mg/kg TM im bundesweiten Vergleich auf einem deutlich niedrigeren Niveau. BGR 2006 weist für unbelastete Bachsedimente im Totalaufschluss einen bundesweiten Median von 26,5 mg/kg aus, der den geogenen Hintergrund der Böden repräsentieren soll. Dieser liegt auch bei einem Verhältnis von ca. 85% eines Königswasser-löslichen Bleianteils gegenüber einem Blei-Totalaufschluss (ARGUMENT 2009) noch deutlich über dem o. g. Median.

Bewertung der Messergebnisse für Blei

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (40 mg/kg TM), Lehm/Schluff (70 mg/kg TM) und Ton (100 mg/kg TM), festgelegt. Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert-SH für Blei** von 100 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.2.2: Vorsorgewerte für Blei für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graus Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Blei Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	100	-	70	-	40	2	100	2 / 4

Insgesamt werden die Vorsorgewerte für Böden aus Sand an zwei Waldstandorten nicht eingehalten. Diejenigen für Lehm / Schluff und Ton werden stets unterschritten. Überschreitungen des Vorsorgewertes durch pH-bedingte Abstufungen gemäß den Anwendungsregeln der BBodSchV (s. Anlage 6, Auszug aus den Hinweisen zu Anwendung der Vorsorgewerte) treten nicht auf.

Der Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird an sechs Standorten überschritten. Die vier höchsten Bleigehalte wurden an Waldstandorten in Auflagehorizonten ermittelt. Dabei ist zu beachten, dass hier entsprechend der BBodSchV eine massebezogene Betrachtung (mg/kg TM) zu Grunde liegt. Eine volumenbezogene Betrachtung (mg/dm³) ergäbe bei diesen Standorten auf Grund der geringeren Trockenraumdichte derartiger Substrate deutlich geringere Werte (siehe dazu auch Anmerkungen in Kap. 1.9). Zwei Überschreitungen lagen bei Niedermoor-Standorten unter Grünland vor.

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ist weiter auf Grundlage eines Königswasserextraktes ein **Maßnahmenwert** für Blei (für Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität) in Höhe von 1200 mg/kg enthalten. Dieser Wert wird bei allen Bodenproben unterschritten.

Die verschiedenen Beurteilungswerte der BBodSchV sind in Anlage 6 enthalten.

3.3 Cadmium (Cd)

Cadmium (Hauptgruppe IIb, Ordnungszahl 48, Atommasse 112,4 u, spezifisches Gewicht 8,64 g/cm³, 67. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) ist in der Natur im Allgemeinen mit Zinkmineralen vergesellschaftet und zeigt geochemisch ein dem Zink ähnliches Verhalten, unterscheidet sich aber durch eine größere Affinität zum Schwefel und eine höhere Verfügbarkeit in sauren Böden.

Cadmium wird in der Galvanotechnik, als PVC-Stabilisator, zur Herstellung von Legierungen und Farbpigmenten sowie als Bestandteil von Batterien (Cd/Ni-Akkumulatoren) und photovoltaischer Solarzellen verwendet (BÄTCHER 1995). Es gelangt seit Beginn der Industrialisierung über Emissionen (Stäube) in die Atmosphäre und auf Böden; zum Teil wurden Böden auch durch Abwasser und Düngemittel (z. B. Phosphat-Dünger, Klärschlamm) mit Cadmium belastet. Hohe Gehalte sind vor allem im Umfeld von Punktemittenten und bei unsachgemäßer Phosphat-Düngung zu erwarten.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Cadmium in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	0,86	1,4
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	2,3	3,1
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	1,3	3,3
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	1,1	2,6
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	0,4	1,4
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	2,1	2,6
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	0,66	0,86

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

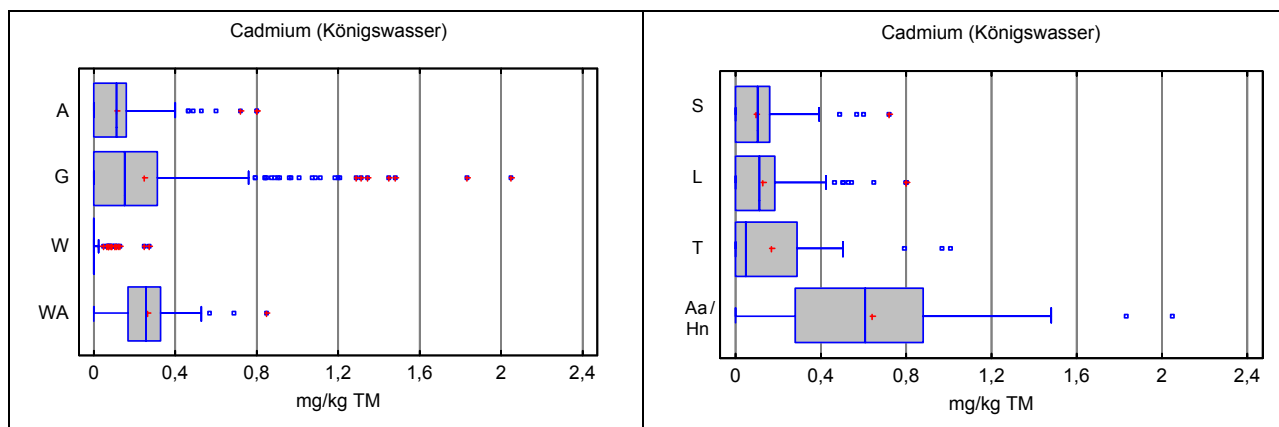
Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Cadmium gehört zu den mobilen, relativ leicht verlagerbaren Schwermetallen. Die Cadmium-Adsorption ist vor allem pH-Wert abhängig. **Schon ab pH < 6,5 ist eine erhöhte Mobilisierbarkeit** gegeben, durch weitere pH-Wert Absenkung wird die Mobilität bis zu 60 % gesteigert. Cadmium ist daher relativ leicht für Pflanzen und Bodenorganismen verfügbar und damit eines der am meisten in Organismen angereicherten Schwermetalle. Der Anreicherungsfaktor kann bei wirbellosen Tieren 100 erreichen. Cadmium beeinträchtigt die Bodenatmung, die Stickstoff-Fixierung und die Enzymaktivität der Mikroorganismen im Boden, bei Pflanzen wurde ein gehemmtes Wachstum festgestellt. Ein Transfer von Cadmium in Nahrungspflanzen ist auch bei vergleichsweise geringen Bodengehalten nicht auszuschließen, wenn es in mobiler Form vorliegt. Es wird von Pflanzen unterschiedlich stark angereichert. Neben der weitaus überwiegenden Aufnahme über den Boden ist in der Nähe zu entsprechenden Emittenten auch die Kontamination der Pflanze über die Luft möglich. Cadmium ist schon in geringen Dosen für Mensch und Tier toxisch.

Auswertung

Cadmium wurde an 759 Standorten (56 davon auch in Waldauflagen) im Königswasserextrakt bestimmt; 558 von 815 Analysen überschritten die jeweilige Bestimmungsgrenze. Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze und der Maximalwert befindet sich an einem als Grünland genutzten Niedermoor bei 2,05 mg/kg TM. Der Median liegt bei 0,12 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 0,17 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 0,39 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 0,66 mg/kg TM.

Die beprobten mineralischen Waldböden und Ackerböden weisen insgesamt die niedrigsten Cadmium-Hintergrundwerte auf. Der höchste Median mit 0,26 mg/kg TM ist in Waldauflagen zu finden. Hieraus ergibt sich der Hinweis auf einen ubiquitären luftgetragenen Eintrag von Cadmium (im Gegensatz z. B. zu Chrom). Wegen der hohen Cadmium-Mobilität in den sauren Waldböden ist keine Anreicherung im Wald-Mineralboden zu beobachten. Der Austrag übersteigt auf Waldstandorten in der Regel die Einträge (BRÜMMER 1992). Das im Boden mobile Cadmium kann über Pflanzenaufnahme auch wieder in die Waldaufgabe gelangen. Die Niedermoor-Hintergrundwerte sind im Vergleich mit mineralischen Böden deutlich erhöht.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf
Hinweis: Beim Waldkollektiv ist keine Box darstellbar, da auch der 75er-Perzentil ein Wert < BG (=0) ist.

Abb. 3.3.1: Verteilung der Cadmiumgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.3.1: Hintergrundwerte Cadmium (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		815	0,12	0,20	0,39	0,66	2,05
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		759	0,11	0,18	0,38	0,67	2,05
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		361	0,12	0,16	0,21	0,26	0,80
Grünland		327	0,15	0,31	0,69	0,91	2,05
Wald		71	< 0,01	< 0,01	0,09	0,12	0,27
Waldauflage		56	0,26	0,33	0,49	0,57	0,85
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	365	0,10	0,16	0,20	0,23	0,72
	Lehm / Schluff	263	0,12	0,18	0,30	0,37	0,80
	Ton	63	0,05	0,29	0,43	0,50	1,01
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	188	0,12	0,16	0,20	0,23	0,72
Grünland	Sand	119	0,10	0,17	0,22	0,23	0,57
Wald	Sand	58	<0,01	<0,01	0,09	0,11	0,27
Acker	Lehm / Schluff	144	0,11	0,16	0,21	0,25	0,80
Grünland	Lehm / Schluff	106	0,15	0,27	0,36	0,42	0,65
Wald	Lehm / Schluff	13	<0,01	<0,01	0,10	-	0,12
Acker	Ton	29	<0,01	0,16	0,40	0,40	0,46
Grünland	Ton	34	0,11	0,36	0,50	0,97	1,01
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	68	0,61	0,88	1,29	1,45	2,05
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	33	0,71	0,91	1,42	1,90	2,05
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hüggell.)	104	0,15	0,18	0,22	0,26	0,46
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 80	0,12	0,16	0,18	0,25	0,49
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	87	0,12	0,15	0,18	0,20	0,39
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	35	<0,01	0,15	0,23	0,40	0,40
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-2) 52	0,07	0,09	0,17	0,46	0,60
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hüggell.)	52	0,17	0,26	0,36	0,57	0,69
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	40	0,08	0,17	0,22	0,24	0,26
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	65	0,10	0,16	0,22	0,23	0,31
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	72	0,56	0,86	1,21	1,45	2,05
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	63	0,15	0,34	0,50	0,65	1,01
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	<0,01	0,15	0,30	0,34	0,40
12- Laubwald	Diverse	35	<0,01	<0,01	0,10	0,12	0,27
13- Nadelwald	Diverse	36	<0,01	<0,01	0,08	0,13	0,25

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv.: n < 20 !
(-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

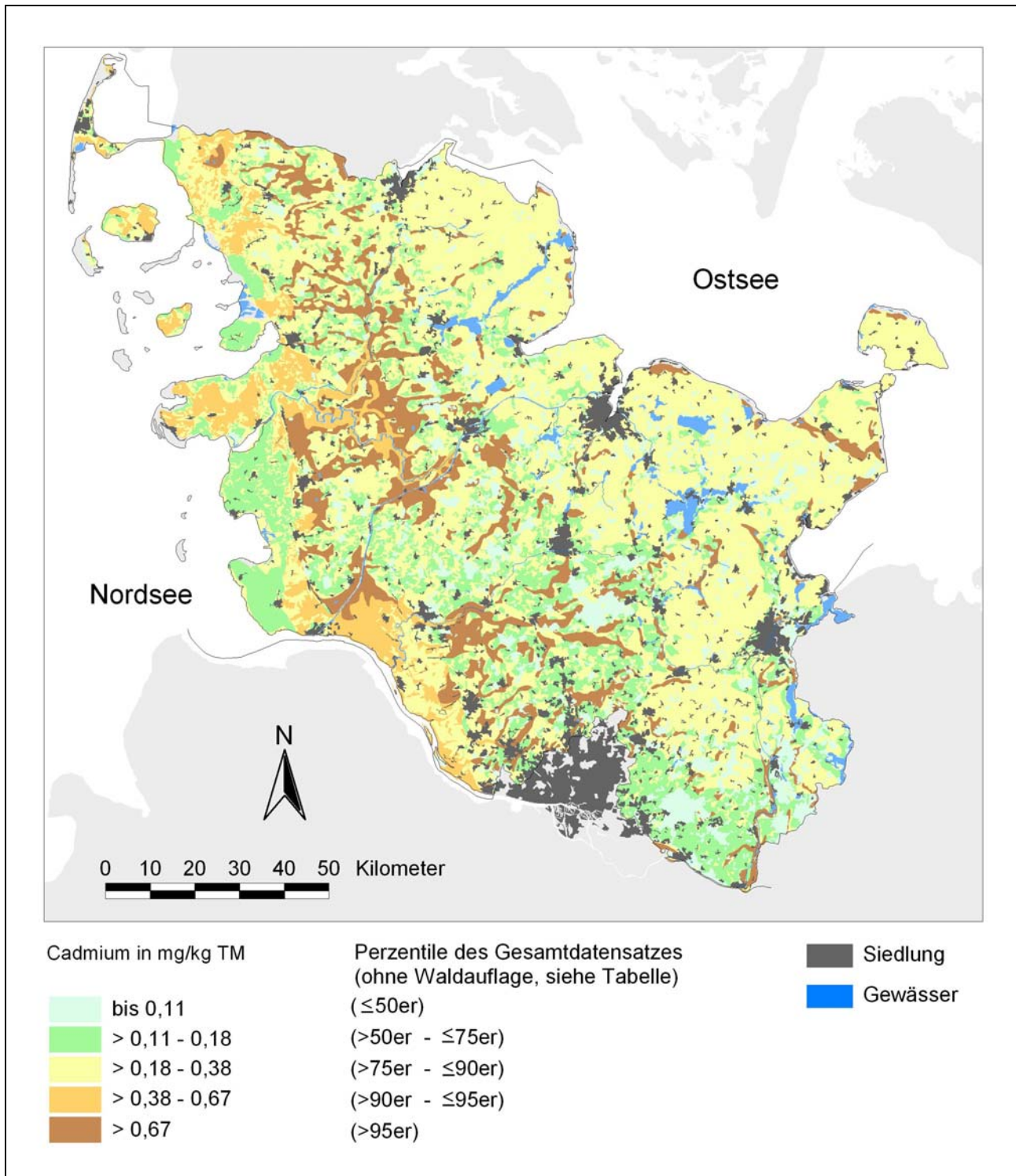


Abb. 3.3.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Cadmium (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich weisen die An- und Niedermoore (AK 9) die höchsten Cadmiumgehalte bezogen auf die dargestellten 90er-Perzentilwerte auf und sind damit an der Braunfärbung zu erkennen. Am niedrigsten liegen die mineralischen Oberböden der in hellgrün dargestellten Laub- und Nadelwälder.

Die dominierenden 90er-Perzentilwerte in den Farben gelb/ocker korrespondieren mit dem 90er-Perzentil des Gesamtdatensatzes (s. Kap. 1.8) – ein Hinweis auf eine eher gleichförmige Verteilung der Cadmiumgehalte in Schleswig-Holstein. Die Marschen weisen mit Ausnahme einzelner Grünlandstandorte eher unterdurchschnittliche Cadmiumgehalte auf. Die Böden der Geest und des Östliche Hügellandes zeigen ebenfalls ein geringes Niveau der Cadmiumgehalte.

Die statistische Auswertung hat einerseits gezeigt, dass mit den Ton- und Schluffanteilen, aber auch der organischen Substanz die Cadmiumgehalte steigen – bezogen auf den Median ist jedoch auch eine andere Tendenz erkennbar: Der Median des Tonkollektives ist der niedrigste der nach Bodenarten differenzierten Kollektive. Dies spiegelt sich offensichtlich insbesondere in den niedrigen Medianen der Marschen (AK 5 / 6 und AK 10 / 11) wider.

Der hier ermittelte Median des Gesamtdatensatzes von 0,11 mg/kg TM bzw. von 0,12 mg/kg TM für Ackerstandorte korrespondiert mit vergleichbaren Literaturangaben; BGR 2006 zitiert z. B. für Ackerböden (Ap) Nordeuropas einen Cadmium-Median von 0,13 mg/kg TM.

Bewertung der Messergebnisse für Cadmium

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (0,4 mg/kg TM), Lehm/Schluff (1,0 mg/kg TM) und Ton (1,5 mg/kg TM), festgelegt. Für Böden mit Humusgehalten über 8% wird der **Vorsorge-Hilfswert für Cadmium** von 1,5 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. [Kap. 1.9](#)). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.3.2: Vorsorgewerte für Cadmium für Böden mit $\leq 8\%$ Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit $> 8\%$ Humus, Anzahl der Überschreitungen (graues Feld)

Humusgehalt	$\leq 8\%$ Humusgehalt						$> 8\%$ Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Cadmium Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	1,5	-	1,0	-	0,4	3	1,5	2 /-

Der gültige Cadmium-Vorsorgewert für Sande von 0,4 mg/kg TM wird an insgesamt drei Ackerstandorten übertroffen. Bei Böden aus Lehm / Schluff sowie Ton gibt es keine Überschreitungen der Vorsorgewerte. Überschreitungen des Vorsorgewertes durch pH-bedingte Abstufungen gemäß den Anwendungsregeln der BBodSchV (s. Anlage 6) treten nicht auf.

Die Überschreitungen des Vorsorgewertes folgen keinem erkennbaren Muster und können somit nicht weiter interpretiert werden.

Der Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird in zwei Fällen (jeweils Grünland auf Niedermoortorf) überschritten.

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ist auf Grundlage eines Königswasserextraktes ein **Maßnahmenwert** für Cadmium (für Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität) in Höhe von 20 mg/kg TM enthalten. Der Maximalgehalt bei Böden unter Grünland beträgt bei den hier ausgewerteten Standorten Schleswig-Holsteins nur 2,05 mg/kg TM.

Diese und weitere Beurteilungswerte der BBodSchV sind in Anlage 6 enthalten.

3.4 Chrom (Cr)

Chrom (Hauptgruppe VIb, Ordnungszahl 24, Atommasse 52,0 u, spezifisches Gewicht 7,2 g/cm³, 21. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) ist hauptsächlich in ultrabasischen Magmatiten zu finden. Wichtigste Chrom-Mineralen sind Chromit und Rotbleierz.

Verwendung findet Chrom als Legierungsbestandteil von Stahl, in der Galvanikindustrie, in der Chemie als Katalysator und Bestandteil von Farbstoffen und Pigmenten, in der Gerbereiindustrie, zur Holzimprägnierung, als Korrosionsschutz und als Bestandteil von Datenträgern. In Böden gelangt Chrom vor allem durch Abwässer (Beiz- und Farbindustrie, Galvanikindustrie), Düngemittel (z. B. Thomasmehl), Klärschlamm und Bioabfall sowie über den Luftpfad.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Chrom in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	5,5	15,9
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	8,8	24
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	47	57
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	56	70
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	41	59
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	24	29
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	22	27

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

In Böden ist Chrom durch eine sehr geringe Löslichkeit und eine sehr geringe Verlagerbarkeit, insbesondere bei hohen pH-Werten, gekennzeichnet. **Ab pH < 4,5 steigt die Mobilität.** In Böden kommt Chrom in beiden Oxidationsstufen (drei- und sechswertig), je nach Redoxverhältnissen und pH-Wert vor. Chrom wird besonders an Ton- und Humuskomplexe gebunden. Unter normalen Bedingungen ist Chrom (III) die am häufigsten verbreitete Form. In Böden mit neutralem bis hohem pH-Wert, wenig organischer Substanz und guter Durchlüftung kann Chrom (III) in Chrom (VI) umgewandelt werden. Die Wirkungsschwellen auf Bodenorganismen und Pflanzen sind für das sechswertige Chrom wesentlich geringer als für dreiwertiges Chrom und werden mit 2-8 mg/kg TM angegeben. Das dreiwertige Chrom gilt für Mensch und Tier aufgrund seiner Bedeutung für den Glukose-Stoffwechsel als essentiell; toxische Wirkungen gehen auch hier vom sechswertigen Chrom aus, das etwa 100 - 1000fach giftiger als 3-wertiges Chrom ist (GAUGLHOFER & BIANCHI 1991). Chrom (VI) ist als krebserzeugend eingestuft.

Auswertung

Chrom wurde an 765 Standorten im Königswasserextrakt bestimmt (an 56 davon im Mineralboden und in der Auflage unter Wald); von 821 Analysen überschritten 645 die jeweilige Bestimmungsgrenze.

Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze - der Maximalwert von 87,0 mg/kg TM befindet sich an einem Ackerstandort der Marsch. Der Median des Gesamtdatensatzes liegt bei 12,7 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 17,5 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 41,8 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 48,1 mg/kg TM.

Die beprobten mineralischen Waldböden und deren Auflagen weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten Chrom-Gehalte auf. Der höchste Median mit 19,0 mg/kg TM ist in Grünlandböden zu finden. Insbesondere die **niedrigen Chromgehalte der Waldauflagen** sind bemerkenswert, da bei den meisten anderen Elementen (wie auch den Organika) die Stoffgehalte der Waldauflagen (schon wegen des Bezuges auf TM) deutlich höher sind als die der mineralischen Bodenproben.

Aus den Daten kann abgeleitet werden, dass in Schleswig-Holstein kaum ubiquitäre, anthropogene Einträge von Chrom über die Luft vorliegen. Dies spiegelt sich auch in den oben zusammengestellten Eintragsdaten wider, bei denen die Einträge über den Luftpfad deutlich geringer sind als die übrigen Einträge.

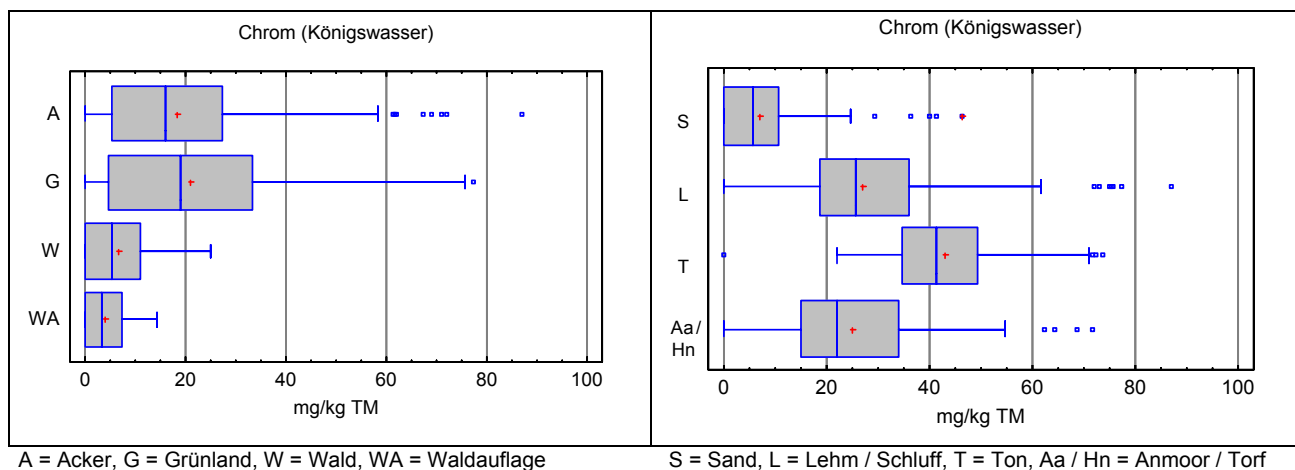


Abb. 3.4.1: Verteilung der Chromgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.4.1: Hintergrundwerte Chrom (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		821	12,7	27,7	41,8	48,1	87,0
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		765	14,4	28,8	42,3	50,0	87,0
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		362	15,9	27,3	40,3	47,6	87,0
Grünland		332	19,0	33,5	45,7	54,8	77,3
Wald		71	5,29	10,9	15,2	18,7	25,0
Waldauflage		56	3,35	7,25	9,94	10,5	14,2
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	368	5,67	10,5	15,7	18,2	46,4
	Lehm / Schluff	263	25,6	36,0	45,5	52,2	87,0
	Ton	63	41,3	49,2	64,7	71,0	73,6
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	189	7,07	12,1	17,4	18,5	46,4
Grünland	Sand	121	4,90	9,48	13,6	16,7	40,0
Wald	Sand	58	4,31	7,93	12,5	14,3	15,2
Acker	Lehm / Schluff	144	24,7	35,8	44,2	52,2	87,0
Grünland	Lehm / Schluff	106	28,2	38,2	45,9	54,4	77,3
Wald	Lehm / Schluff	13	16,4	18,7	24,3	-	25,0
Acker	Ton	29	38,5	44,3	67,3	69,0	71,0
Grünland	Ton	34	43,7	52,1	64,7	72,3	73,6
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	21,9	34,0	45,2	62,4	71,6
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	35	27,8	40,8	63,1	69,4	71,6
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	104	22,5	34,0	41,5	47,6	61,8
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	82	8,80	12,8	16,5	18,2	24,7
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	87	4,96	7,78	10,6	13,5	16,2
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	35	36,2	44,3	62,0	71,0	72,0
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	54	25,1	38,5	50,6	52,7	87,0
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	52	19,3	24,7	36,0	42,0	50,5
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 39	7,64	9,89	12,9	16,8	17,9
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	67	3,94	6,87	10,3	11,2	16,1
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	75	21,9	34,0	46,2	64,2	73,0
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	63	41,6	47,9	63,7	72,3	77,3
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	28,8	38,2	51,8	73,6	75,0
12- Laubwald	Diverse	35	8,91	14,3	18,7	24,3	25,0
13- Nadelwald	Diverse	36	1,59	5,22	9,75	15,1	15,2

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

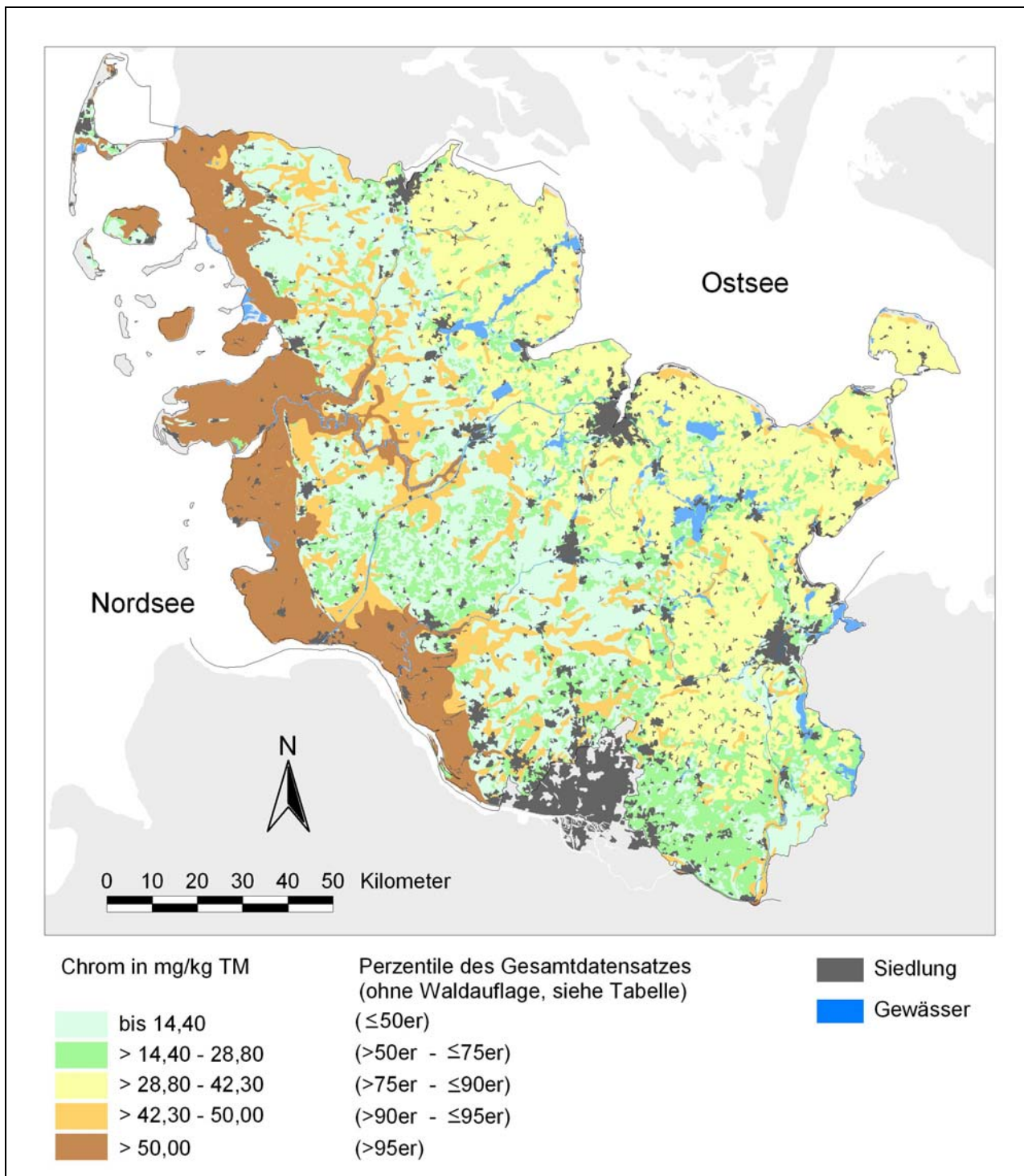


Abb. 3.4.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Chrom (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich sind die Marschböden durch erhöhte Chromgehalte, bezogen auf die dargestellten 90er-Perzentilwerte, gekennzeichnet. Diese Tendenz wird auch durch die höheren Mediane der Marschen (Klasse 4, 5, 10, 11) gegenüber dem Gesamtdatensatz verdeutlicht und weist auf geogen erhöhte Chromgehalte der Marsch hin.

Auch noch als leicht erhöht sind die in ocker dargestellten An- und Niedermoore (AK 9) einzustufen.

Weite Teile der Geest weisen im Vergleich zum Gesamtdatensatz sehr niedrige Chromgehalte auf – dies korrespondiert mit den in Abb. 3.4.1 erkennbaren deutlich geringeren Chromgehalten bei Sanden bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil gegenüber Lehm / Schluff und Ton.

Das Östliche Hügelland wird von durchschnittlichen Chromgehalten geprägt. Die beprobten Böden aus Sand

weisen insgesamt die niedrigsten Chrom-Gehalte auf.

Die statistische Auswertung zeigt deutlich, dass mit den Ton- und Schluffanteilen, aber auch mit der organischen Substanz (Torfe), die Chromgehalte ebenfalls steigen.

Böden unter Grünland- und Ackernutzung weisen deutlich höhere Chromgehalte auf als die Wälder. Der aus den Daten abzuleitende verhältnismäßig geringe Eintrag von Chrom über die Luft wurde oben schon besprochen.

Die weite Spanne der 90er-Perzentilwerte der Auswertungsklassen wird durch die Verteilung der Farben von hellgrün bis braun widergespiegelt. Diese reichen von 9,75 - 63,7 mg/kg TM. Diese Spanne ist bei den Medianen vergleichbar zu erkennen (von 1,6 - 41,6 mg/kg TM) und überschreitet damit sogar den Faktor 10. Am Marsch-Geest-Übergang sind die entsprechenden Bodenformen mit den höchsten und niedrigsten Chromgehalten dieses Datensatzes direkt benachbart. Bei der Bewertung von neuen Messergebnissen an Hand dieser Hintergrundwerte ist daher eine korrekte Zuordnung nötig.

Bewertung der Messergebnisse für Chrom

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (30 mg/kg TM), Lehm / Schluff (60 mg/kg TM) und Ton (100 mg/kg TM), festgelegt. Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert für Chrom von 100 mg/kg TM** für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.4.2: Vorsorgewerte für Chrom für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graues Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Chrom Werte- Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	100	-	60	5	30	4	100	-

Insgesamt treten an 9 Standorten Überschreitungen auf. Darunter sind vier Sandstandorte, wovon einer Grünland- und drei Ackernutzung aufweisen. An fünf Lehm- / Schluffstandorten mit einer Grünland- und vier Ackernutzungen ist in vier von fünf Fällen eine **geogen bedingte Überschreitung** der beprobten Marschböden anzunehmen.

Die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % werden in keinem Falle überschritten.

Prüf- und Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad **Boden-Nutzpflanze** existieren nicht.

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (W Wirkungspfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

3.5 Kupfer (Cu)

Kupfer (Hauptgruppe Ib, Ordnungszahl 29, Atommasse 63,5 u, spezifisches Gewicht 8,96 g/cm³, 26. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) ist weit verbreitet und kommt vor allem in den Mineralen Kupferglanz, Kupferkies, Rotkupfererz und Malachit vor.

Kupfer findet hauptsächlich Verwendung in der Elektrotechnik und Elektronik, beim Bau pharmazeutischer Geräte, als Material für Wasserleitungen und Dachbedeckungen sowie als Farbstoff- und Legierungsbestandteil (SCHEINBERG 1991). Im Jahr 2007 wurden in Deutschland 1,7 Millionen Tonnen verarbeitet (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG METALLE 2008). Hohe Kupfergehalte in Böden sind hauptsächlich in der Nähe von kupferverarbeitenden Betrieben, in Industrieabwässern, in Klärschlämmen sowie in Hopfen- und Weinanbaugebieten zu finden, in denen Kupfer früher als Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurde. Auch in Schweinegülle finden sich insbesondere in Abhängigkeit von den eingesetzten Futtermitteln häufig hohe Kupfergehalte.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Kupfer in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	44	70
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	90	117
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	11	35
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	282	514
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	8,8	220
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	20	27
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	81	174

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Die Löslichkeit von Kupfer ist pH-abhängig. Mit Abnahme des pH-Wertes ist eine zunehmende **Löslichkeit**, **ab pH < 4,5** ein deutlicher Anstieg festzustellen. Die Löslichkeit wird auch vom Gehalt löslicher organischer Komplexbildner beeinflusst (BRÜMMER 1992/2010). Kupfer ist im Boden weitgehend gleichmäßig verteilt. Es wird vor allem an die organische Substanz, in geringerem Ausmaß auch an Sesquioxide und Tonminerale gebunden. Für die meisten Organismen ist Kupfer essentiell, aber kann in hohen Konzentrationen toxisch wirken. Gehalte von 5-10 mg/kg TM gelten bei Pflanzen als essentiell, ab 25-30 mg/kg TM treten bei empfindlichen Pflanzen toxische Effekte auf. Die Adsorptionsgeschwindigkeit ist sehr gering, und Kupfer ist auch innerhalb der Pflanze ein wenig mobiles Element. Toxisch wirksame Kupfergehalte sind in landwirtschaftlichen Böden in der Regel nicht anzutreffen; die Kupfer-Empfindlichkeit von Schafen bei der Nutzung von Grünlandflächen ist jedoch zu berücksichtigen (siehe differenzierter Maßnahmenwert der BBodSchV bezüglich Grünlandflächen in Anlage 6). Für die Wirkung auf Bodenlebewesen werden in der Literatur große Spannen angegeben. Kupferionen sind ein starkes Gift für Mikrolebewesen wie beispielsweise Bakterien, Algen, Pilze. Kupfer zählt auch beim Menschen zu den essentiellen Spurenelementen. In hohen Konzentrationen kann es auch für den Menschen toxisch wirken, die Grenze zwischen Nutzen und Schaden ist bei Kupfer jedoch schwer zu ziehen.

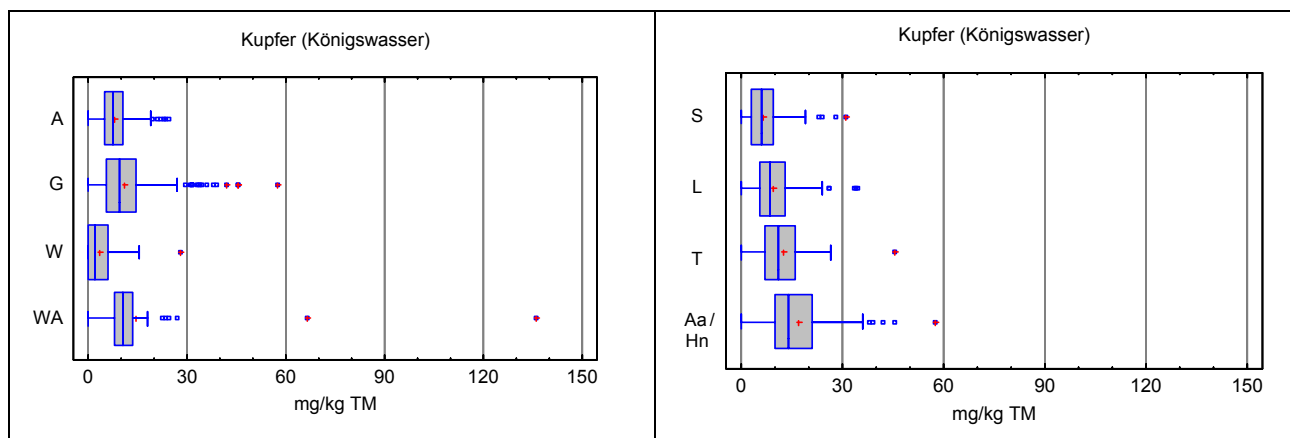
Auswertung

Kupfer wurde an 763 Standorten im Königswasserextrakt bestimmt (davon an 56 Waldstandorten im Mineralboden sowie in der Auflage); 730 von 819 Analysen überschritten die jeweilige Bestimmungsgrenze.

Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze und der Maximalwert befindet sich in einer Waldaufgabe bei 136 mg/kg TM. Der Median liegt bei 7,97 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 9,31 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 17,0 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 22,2 mg/kg TM.

Die beprobten mineralischen Waldbodenhorizonte weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten Kupfer-Gehalte auf. Der höchste Median mit 10,6 mg/kg TM ist in Waldaufgaben zu finden, ein Hinweis auf den luftgetragenen Eintrag von Kupfer.

Die beprobten Böden aus Sand weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten Kupfer-Gehalte auf. Der höchste Median mit 14,0 mg/kg TM tritt bei Niedermoortorf auf.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage

S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf

Abb. 3.5.1: Verteilung der Kupfergehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.5.1: Hintergrundwerte Kupfer (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		819	7,97	12,6	17,0	22,2	136
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		763	7,76	12,5	16,7	21,5	57,7
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		362	7,51	10,6	14,7	16,9	24,6
Grünland		330	9,44	14,6	21,5	26,4	57,7
Wald		71	2,16	6,17	9,20	13,1	28,0
Waldauflage		56	10,6	13,6	22,7	26,8	136
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	368	6,04	9,40	13,2	14,6	31,2
	Lehm / Schluff	263	8,60	13,2	17,4	19,4	34,4
	Ton	63	11,1	15,8	21,5	24,6	45,6
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	189	6,36	9,00	12,8	14,1	23,0
Grünland	Sand	121	7,01	10,8	13,8	14,9	31,2
Wald	Sand	58	1,88	5,38	10,7	13,8	28,0
Acker	Lehm / Schluff	144	8,80	12,4	16,5	18,2	23,4
Grünland	Lehm / Schluff	106	9,17	15,5	19,4	23,8	34,4
Wald	Lehm / Schluff	13	3,09	6,17	6,59	-	6,66
Acker	Ton	29	10,5	13,7	16,2	17,7	24,6
Grünland	Ton	34	11,5	17,0	24,0	26,4	45,6
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	69	14,0	21,0	33,0	39,0	57,7
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	34	17	27,6	38,4	42,8	45,6
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	104	9,64	13,4	17,0	18,6	23,4
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	82	6,47	9,70	13,6	14,4	23,0
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	87	5,16	8,01	11,2	13,2	18,8
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	35	9,95	12,7	15,9	17,7	24,6
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	54	5,83	8,50	11,6	15,4	22,2
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	52	11,6	16,6	22,2	25,8	34,4
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	40	6,64	9,86	13,6	14,8	16,2
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	(-1) 66	7,37	11,0	14,0	15,1	24,2
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	(-1) 72	13,6	19,2	31,4	37,8	45,6
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	(-1) 62	11,4	15,6	21,5	25,7	33,9
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	7,00	9,60	13,3	23,8	26,4
12- Laubwald	Diverse	35	3,09	6,59	9,20	12,1	15,3
13- Nadelwald	Diverse	36	1,41	3,61	9,20	13,1	13,8

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20
 (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

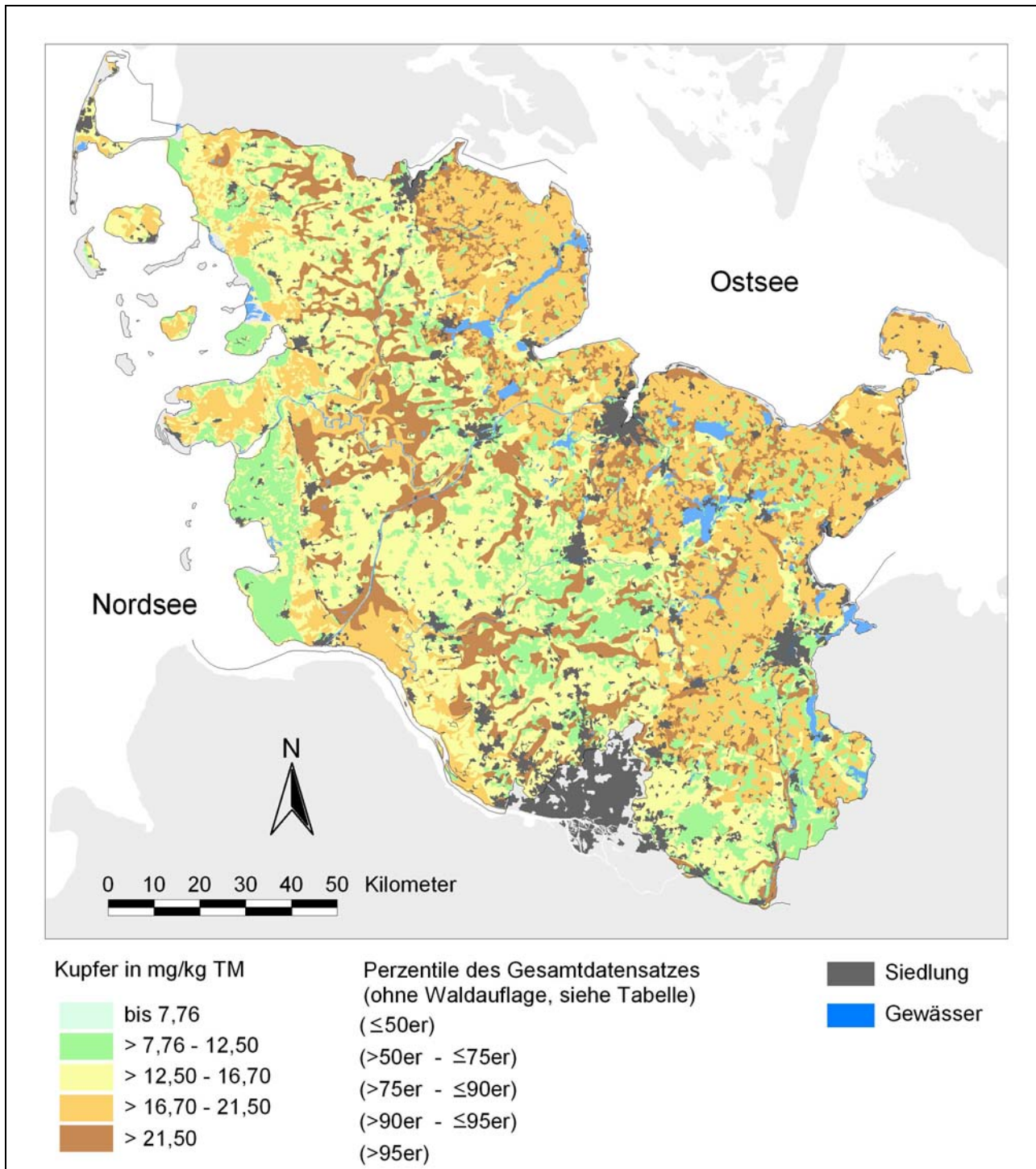


Abb. 3.5.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Kupfer (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Die 90er-Perzentilwerte der meisten Auswertungsklassen liegen nahe beim 90er-Perzentil des Gesamtdatensatzes (s. Kap. 1.8) (vgl. die gelb/ocker dominierte Abb. 3.5.2) – offensichtlich sind die Kupfergehalte in Schleswig-Holstein auch auf Grund der Bodenausgangsgesteine eher gleichförmig verteilt (s. a. BGR 2006). Im landesweiten Vergleich fallen die An- und Niedermoore (AK 9) mit deutlich erhöhten Kupfergehalten auf (90er-Perzentil von 31,4 mg/kg) und sind damit an der Braunfärbung zu erkennen.

Einige grünlandgenutzte Standorte der alten Marsch (AK 10) sind als erhöht einzustufen – das 90er-Perzentil der Auswertungsklasse 10 liegt mit 21,5 mg/kg TM exakt auf der Farbgrenze zu braun. Die ackerbaulich genutzten Marsch- und Geeststandorte weisen im Vergleich zum Gesamtkollektiv überwiegend geringe bis sehr niedrige Kupfergehalte auf.

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass vor allem mit der organischen Substanz, aber auch mit dem Schluff- und Tonanteil die Kupfergehalte steigen. Zudem weist Grünland gegenüber Ackernutzung höhere Kupfergehalte auf.

Mineralische Waldbodenhorizonte mit den niedrigsten 90er-Perzentilwerten von 9,2 mg/kg TM unterliegen auf Grund des geringen pH-Wertes und dadurch erhöhter Mobilität von Kupfer offensichtlich der Abreicherung.

Bewertung der Messergebnisse für Kupfer

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (20 mg/kg TM), Lehm / Schluff (40 mg/kg TM) und Ton (60 mg/kg TM), festgelegt.

Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert für Kupfer** von 60 mg/kg TM für alle Substrate vorgeschlagen (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.5.2: Vorsorgewerte für Kupfer für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graues Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Kupfer Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	60	-	40	-	20	1	60	-/2

Insgesamt tritt nur an einem sandigen Grünlandstandort eine Überschreitung auf.

Die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % werden an zwei Waldstandorten im Auflagehorizont überschritten.

Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze ist für Grünland ein **Maßnahmenwert** von 1.300 mg/kg TM (bei Schafhaltung 200 mg/kg TM) festgelegt. Dieser Wert wird an keinem Grünlandstandort überschritten.

3.6 Nickel (Ni)

Nickel (Hauptgruppe VIII, Ordnungszahl 28, Atommasse 58,7 u, spezifisches Gewicht 8,9 g/cm³, 23. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) findet sich vor allem in ultrabasischen Gesteinen mit hohen Gehalten an Olivin.

Nickel findet als Legierungszusatz, als Katalysator bei der Herstellung organischer Chemikalien, in der Galvanotechnik und in Ni-Cd-Batterien Verwendung (SUNDERMAN & OSKARSSON 1991). Es wird vor allem bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern und durch den Kfz-Verkehr freigesetzt. Nickel gelangt im Wesentlichen über den Luftpfad in die Böden. Weiter ist der Nickel-Eintrag durch Abwässer und Klärschlamm von Bedeutung.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Nickel in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	7,4	16,9
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	12	79
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	6,6	9,2
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	27	46
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	5,2	17
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	5,0	5,8
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	8,3	15

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Nickel als natürlicher Bestandteil des Bodens ist weniger mobil als Cadmium, jedoch in deutlich höherem Maße als Kupfer, vor allem bei im Boden häufig anzutreffendem leicht sauren Milieu. Die Löslichkeit steigt mit abnehmendem pH-Wert, besonders **ab pH < 5,5**. Auch durch lösliche organische Komplexbildner ist eine erhöhte Mobilität gegeben (BRÜMMER 1992). Unter reduzierenden Bedingungen nimmt die Nickel-Löslichkeit ebenfalls zu.

Im Boden wird Nickel vor allem durch Sesquioxide sowie durch Tonminerale gebunden. Nickel kann von Pflanzen und Bodenorganismen akkumuliert werden. Im Pflanzeninneren ist Nickel mobil.

Nickel ist für Pflanzen und Tiere, wahrscheinlich auch beim Menschen ein essentielles Element (SCHNEIDER & KALBERLAH 2005). Gehalte von unter 50 mg/kg TM (Königswasser extrahierbar) im Boden führen nicht zu Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums. Allerdings wird Nickel eine stark phytotoxische Wirkung zugeschrieben. Nickel kann beim Menschen zu Stoffwechselstörungen führen, die Aufnahme anderer Spurenelemente hemmen und wirkt krebserzeugend. Nickel kann zudem Allergien hervorrufen.

Auswertung

Nickel wurde an 753 Standorten im Königswasserextrakt bestimmt (davon an 56 im Mineralboden sowie in der Auflage); von 809 Analysen überschritten 562 die jeweilige Bestimmungsgrenze.

Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze; der Maximalwert von 33,4 mg/kg TM findet sich an einem tonigen Ackerstandort der Marsch. Der Median liegt bei 4,10 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 6,99 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 17,8 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 22,1 mg/kg TM. Die beprobten mineralischen Waldböden und deren Auflagehorizonte weisen beim Vergleich der Nutzungskollektive die niedrigsten Nickel-Hintergrundwerte auf. Der höchste Median mit 6,59 mg/kg TM ist in Ackerböden zu finden. Es ist das einzige Element, bei dem Ackerböden die höchsten statistischen Kennwerte bei den Nutzungen aufweisen. Dies wird insbesondere bei sandigen Acker- gegenüber sandigen Grünlandstandorten deutlich. Hier spiegelt sich vermutlich die bei diesen Kollektiven unterschiedliche pH-Verteilung und damit Mobilität des Nickels wider. Sandige Böden unter Acker weisen mit pH 5,3 (Mittelwert) einen höheren pH-Wert auf als unter Grünland (Mittelwert pH 4,8). Bei dem o. g. Grenz-pH von 5,5 kann ein solcher Unterschied wirksam sein – Nickel ist bei niedrigen pH-Werten mobil und wird offensichtlich mit dem Sickerwasser verlagert.

Eine deutliche Bodenartabhängigkeit ist an der Zunahme der Nickelgehalte bei dem Median u. a. Perzentil-

werten von Sand über Lehm / Schluff zu Ton zu erkennen. Der sehr deutliche Sprung von Sand zu Lehm / Schluff (90er-Perzentil von 6,7 auf 20 mg/kg TM) zusammen mit dem bei Böden aus Lehm bzw. Schluff im Mittel immer noch geringen pH-Wert von 5,8 führt durch die pH-Wert-Abstufung der BBodSchV zu den im Folgenden beschriebenen Vorsorgewertüberschreitungen.

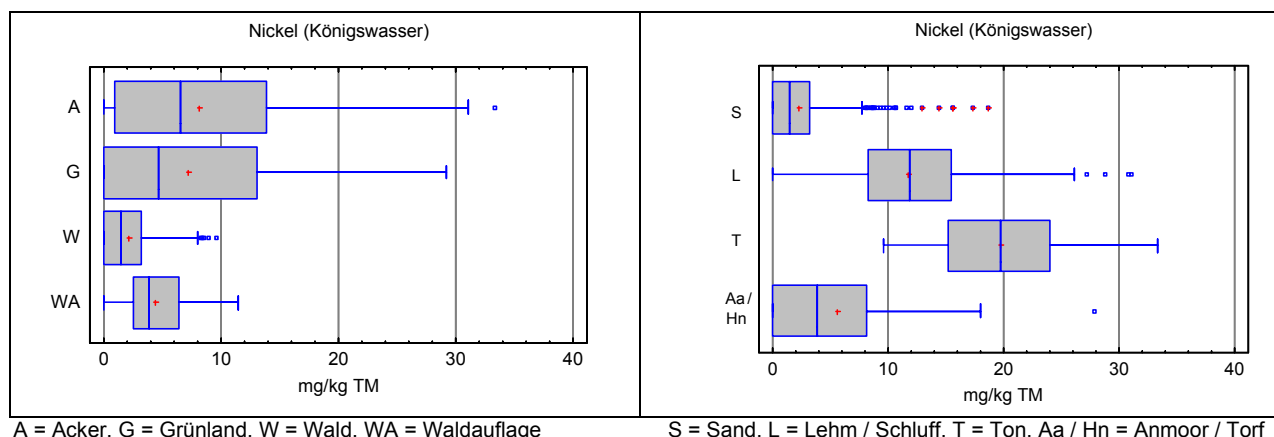


Abb. 3.6.1: Verteilung der Nickelgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.6.1: Hintergrundwerte Nickel (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		809	4,10	11,8	17,8	22,1	33,4
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		753	4,22	12,5	18,0	22,6	33,4
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		358	6,59	13,8	19,6	23,7	33,4
Grünland		324	4,70	13,0	18,0	22,1	29,2
Wald		71	1,51	3,25	6,45	8,43	9,55
Waldauflage		56	3,90	6,35	7,93	9,60	11,5
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	367	1,51	3,22	6,70	8,73	18,6
	Lehm / Schluff	257	11,8	15,5	20,0	23,2	31,0
	Ton	60	19,7	24,0	26,3	28,2	33,4
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	189	2,25	4,52	8,09	10,5	18,6
Grünland	Sand	120	<0,50	2,44	4,13	7,01	10,6
Wald	Sand	58	<0,50	2,15	3,25	4,38	5,20
Acker	Lehm / Schluff	141	12,0	16,7	21,3	25,0	31,0
Grünland	Lehm / Schluff	103	12,4	15,1	18,6	21,5	28,8
Wald	Lehm / Schluff	13	7,40	8,43	8,96	-	9,55
Acker	Ton	28	19,7	25,0	27,8	28,5	33,4
Grünland	Ton	32	19,5	22,8	25,4	26,3	29,2
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	69	3,89	8,11	13,5	17,2	27,8
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	34	3,1	8,8	14,5	20,45	27,8
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	101	11,2	15,6	19,6	22,6	30,8
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	82	3,26	5,85	7,36	9,62	15,6
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	87	1,68	2,30	2,92	3,43	4,98
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	34	16,7	22,9	26,3	28,5	33,4
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	54	13,3	17,8	24,5	25,6	31,0
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	52	9,65	13,5	15,4	17,4	23,2
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	40	<0,50	3,22	4,13	6,15	7,77
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	66	<0,50	<0,50	2,43	2,85	3,44
9- Grünland	BK 4 (Anmoor / Torfe)	73	3,89	7,97	12,8	17,9	27,8
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	58	16,4	21,6	25,1	26,3	29,2
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	11,5	16,4	18,6	26,2	27,2
12- Laubwald	Diverse	35	2,98	6,38	8,43	8,96	9,55
13- Nadelwald	Diverse	36	<0,50	1,68	2,43	3,22	3,25

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 !
- = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

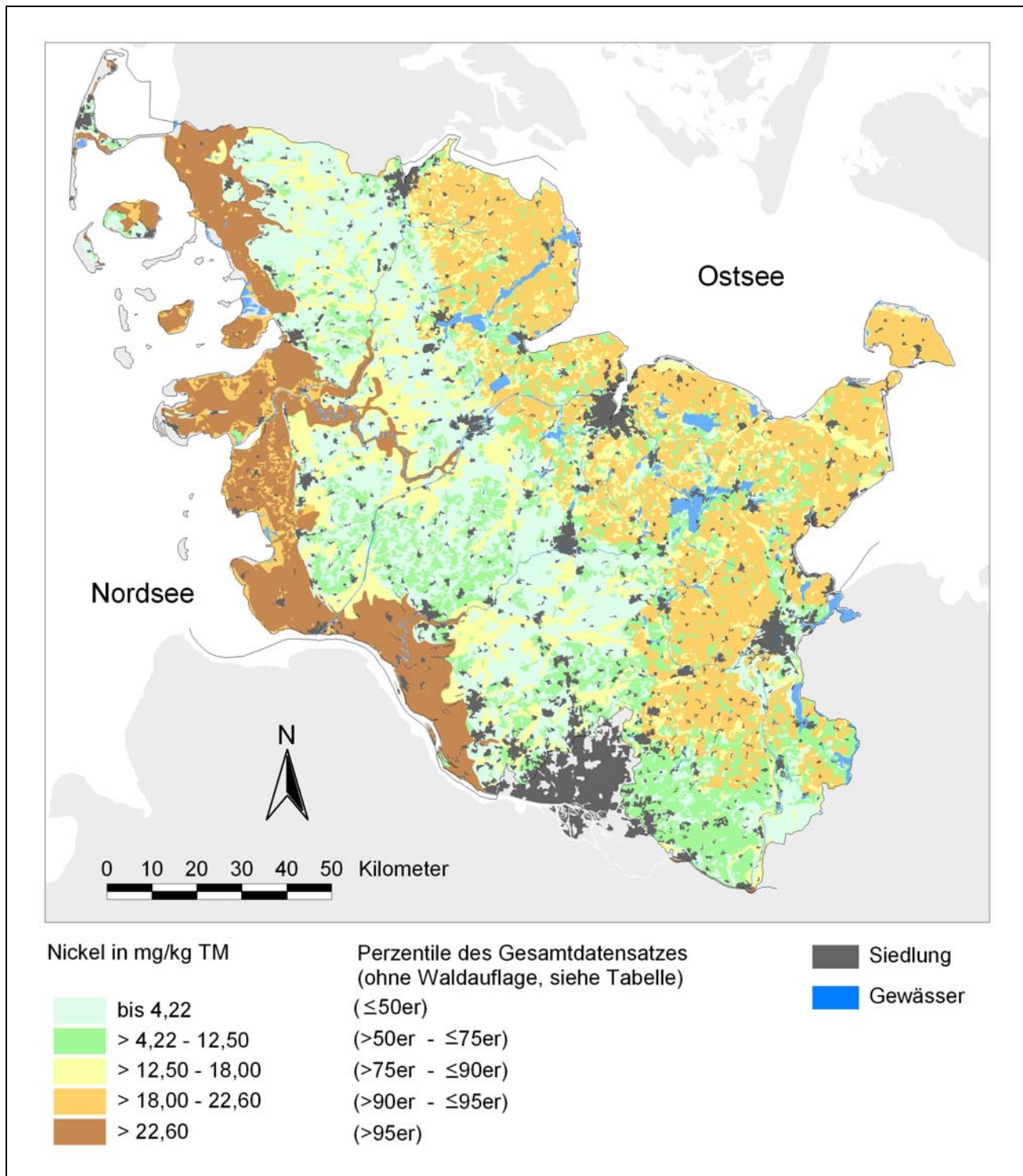


Abb. 3.6.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Nickel (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich sind die besonders ton- und sesquioxidreichen Marschböden durch erhöhte Nickelgehalte, bezogen auf die dargestellten 90er-Perzentilwerte, gekennzeichnet. Die Böden weiter Teile der Geest sowie die An- und Niedermoore weisen demgegenüber deutlich niedrigere Nickelgehalte (Grüntöne) auf. Die Böden des Östlichen Hügellandes weisen eher durchschnittliche Gehalte an Nickel auf.

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass die Nickelgehalte mit den Ton- und Schluffanteilen steigen. Böden unter Grünland- und Ackernutzung weisen deutlich höhere Nickelgehalte auf als die Böden der Wälder.

Die Verteilung der Farben von hellgrün bis braun spiegelt die weite Spanne der 90er-Perzentilwerte der Auswertungsklassen wider. Diese reichen von 2,4 - 26 mg/kg TM. Diese Spanne ist bei den Medianen vergleichbar zu erkennen (von < 0,5 - 17 mg/kg TM) und überschreitet damit sogar den Faktor 10. Am Marsch-Geest-Übergang sind die entsprechenden Bodenformen mit den unterschiedlichen Nickelgehalten direkt benachbart. Bei der Bewertung von neuen Messergebnissen an Hand dieser Hintergrundwerte ist daher eine korrekte Zuordnung nötig.

Bewertung der Messergebnisse für Nickel

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (15 mg/kg TM), Lehm / Schluff (50 mg/kg TM) und Ton (70 mg/kg TM), festgelegt. Bei pH-Werten unter 6 erfolgt für Lehm / Schluff und Ton eine zusätzliche Herabsetzung. Im Falle der Lehme / Schluffe sind dann die Werte für Sand anzuwenden.

Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert für Nickel** von 70 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.6.2: Vorsorgewerte für Nickel für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graues Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Nickel Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	70	-	50	22	15	4	70	-

Die Herabsetzung des Vorsorgewertes bei pH < 6 bedingt die 22 Überschreitungen bei Böden aus Lehm bzw. Schluff. Alle Werte liegen zwar deutlich unter 50 mg/kg TM, aber oberhalb des aufgrund des pH-Wertes anzuwendenden niedrigeren Vorsorgewertes von 15 mg/kg TM. Hinzu kommen erhöhte Werte an vier ackerbaulich genutzten Sandstandorten.

Durch die deutlich höheren Grundgehalte von Böden aus Lehm bzw. Schluff gegenüber Böden aus Sand ist offensichtlich eine hohe Anzahl von tendenziell versauerten bzw. zu schwach gekalkten Böden durch die pH-bezogene Anwendungsregel der BBodSchV (siehe Anlage 6) betroffen. Die Standorte verteilen sich auf das Östliche Hügelland (9 Ackerbauflächen der Auswertungsklasse 1, 3 Grünlandflächen der Klasse 6) und die Marschen (5 Ackerstandorte und 6 Grünlandstandorte). Es sind keine gebietsbezogenen Schwerpunkte erkennbar – alle Depositionsklassen (s. Kap. 1.3) sind vertreten.

Die vorgeschlagenen Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % werden an keinem Standort überschritten.

Der **Maßnahmenwert** für Grünland von 1.900 mg/kg TM wird an keinem Standort erreicht.

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (Wirkungspfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

3.7 Quecksilber (Hg)

Quecksilber (Hauptgruppe IIa, Ordnungszahl 80, Atommasse 200,6 u, spezifisches Gewicht 13,55 g/cm³, 66. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) ist als einziges Metall bei Zimmertemperatur flüchtig. Aufgrund des hohen Dampfdrucks gelangt Quecksilber vor allem gasförmig in die globalen Kreisläufe. Das einzige relativ häufige Quecksilber-Erz ist Zinnober (HgS). Erhöhte und damit nutzbare Quecksilbergehalte finden sich darüber hinaus auch im Tonschiefer.

Quecksilber findet Verwendung in Manometern, Thermometern, als Amalgam in der Zahnmedizin, als Elektrodenmaterial, in Batterien, zur Holzveredelung und früher als Saatgutbeizmittel in der Landwirtschaft (in der BRD bis 1981). Beim Quecksilber-Kreislauf ist von Bedeutung, dass durch mikrobielle Transformationen von Quecksilber-Verbindungen das sehr toxische Methylquecksilber entstehen kann.

Lokal können erhöhte Quecksilbergehalte auch in der Nähe von metallverarbeitenden Industrieanlagen von Bedeutung sein. Ein Quecksilber-Eintrag kann auch über die Ausbringung von Klärschlamm erfolgen.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Quecksilber in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	0,05 (nur aus Niederschlag)	-
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	0,11	0,38
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	0,01	0,05
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	0,64	1,19
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	0,01	0,09
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	0,03	0,03
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	0,06	0,12

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Quecksilber weist eine sehr geringe Verfügbarkeit im Boden auf, wobei im Boden verschiedene Bindungsformen unterschiedlicher Toxizität zu unterscheiden sind, die auf unterschiedlichen Wegen von Organismen aufgenommen werden können. Es wird vor allem durch die organische Substanz gebunden – die starke Affinität führt zu Komplexverbindungen. Nur in stark sauren Böden < pH 4 ist eine gewisse Verlagerung zu erwarten. In Bodenhorizonten, die durch reduzierende Bedingungen geprägt sind, wird Quecksilber als Sulfid ausgefällt. Bereits geringe Konzentrationen führen zu Hemmungen der mikrobiellen Aktivität und zur Beeinträchtigung der Reproduktionsrate von Bodenlebewesen. Die Auswirkungen auf Pflanzen hängen stark von der Bindungsform und der Pflanzenart ab, einige Arten können Quecksilber nennenswert anreichern.

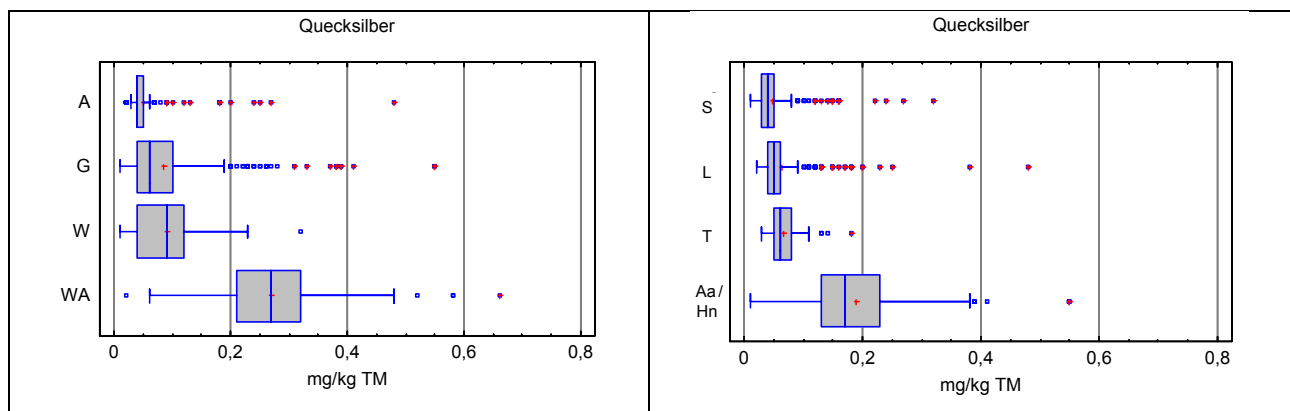
Über den Boden aufgenommenes Quecksilber reichert sich im Allgemeinen in den Wurzeln an, Quecksilber in den oberirdischen Pflanzenteilen stammt hingegen von dem durch die Blätter aufgenommenen Quecksilberdampf (Ausgasungen aus dem Boden). Die Mechanismen der Ausgasungen und der Anteil von methyliertem Quecksilber sind bisher noch wenig bekannt.

Generell gelten die organischen Quecksilber-Verbindungen im Vergleich zu den anorganischen Quecksilber-Verbindungen als wesentlich toxischer (VON BURG & GREENWOOD 1991).

Auswertung

Quecksilber wurde an 917 Proben bestimmt. An einigen Standorten wurden nur Waldauflagen auf Quecksilber untersucht – die Anzahl der Waldauflagen übersteigt mit 140 daher die der Oberbodenproben der Waldstandorte. Alle Analysen lagen oberhalb der Bestimmungsgrenze. Der Minimalwert liegt bei 0,01 mg/kg TM und der Maximalwert ist in einer Waldaufgabe mit 0,66 mg/kg TM zu finden. Der Median liegt bei 0,05 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 0,10 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 0,26 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 0,32 mg/kg TM.

Die beprobten Ackerböden weisen insgesamt die niedrigsten der nach Nutzung differenzierten Quecksilber-Hintergrundwerte auf; der höchste Median mit 0,27 mg/kg TM ist in Waldaufgaben zu finden. Auch Niedermoor torf weist mit einem Median von 0,17 mg/kg TM gegenüber den mineralischen Böden deutlich höhere Hintergrundwerte auf und bestätigt damit die hohe Quecksilber-Affinität zur organischen Substanz.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage

S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf

Abb. 3.7.1: Verteilung der Quecksilbergehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.7.1: Hintergrundwerte Quecksilber (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		917	0,05	0,13	0,26	0,32	0,66
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		777	0,05	0,07	0,15	0,20	0,55
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		306	0,04	0,05	0,06	0,07	0,48
Grünland		394	0,06	0,10	0,18	0,24	0,55
Wald		77	0,09	0,12	0,16	0,17	0,32
Waldauflage		140	0,27	0,32	0,37	0,42	0,66
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	338	0,04	0,05	0,08	0,12	0,32
	Lehm / Schluff	282	0,05	0,06	0,11	0,15	0,48
	Ton	73	0,06	0,08	0,10	0,13	0,18
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	141	0,04	0,05	0,06	0,07	0,27
Grünland	Sand	136	0,04	0,05	0,06	0,07	0,15
Wald	Sand	61	0,07	0,11	0,15	0,16	0,32
Acker	Lehm / Schluff	134	0,05	0,05	0,07	0,09	0,48
Grünland	Lehm / Schluff	132	0,05	0,07	0,11	0,15	0,38
Wald	Lehm / Schluff	16	0,12	0,14	0,17	-	0,23
Acker	Ton	31	0,05	0,06	0,08	0,18	0,18
Grünland	Ton	42	0,07	0,09	0,10	0,11	0,14
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	84	0,17	0,23	0,31	0,39	0,55
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	43	0,20	0,24	0,38	0,39	0,41
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-2) 82	0,05	0,06	0,06	0,07	0,09
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 61	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	(-1) 59	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	42	0,05	0,05	0,06	0,06	0,13
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-1) 57	0,04	0,05	0,07	0,12	0,25
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-1) 61	0,05	0,06	0,08	0,08	0,17
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	44	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	75	0,04	0,04	0,06	0,07	0,15
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	84	0,17	0,23	0,31	0,39	0,55
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	87	0,07	0,09	0,11	0,11	0,18
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	42	0,05	0,06	0,11	0,14	0,20
12- Laubwald	Diverse	33	0,12	0,16	0,17	0,23	0,32
13- Nadelwald	Diverse	44	0,04	0,09	0,12	0,13	0,15

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

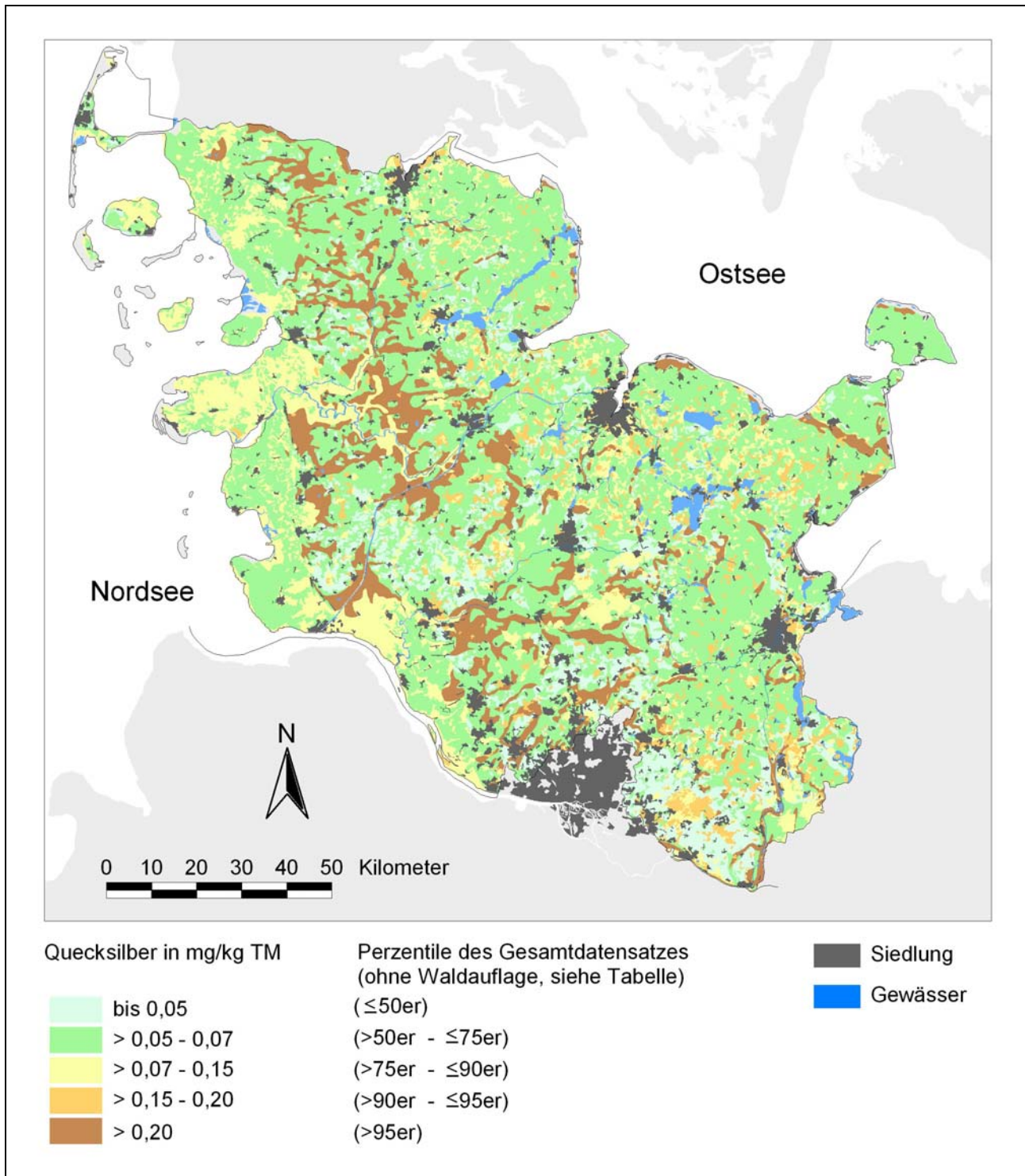


Abb. 3.7.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Quecksilber (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich weisen die An- und Niedermoore (AK 9) (braun) die deutlich höchsten Quecksilbergehalte, bezogen auf die 90er-Perzentilwerte, auf.

Überdurchschnittliche Gehalte weisen zudem die Böden unter Laubwald (AK 12) auf, die auf Grund ihrer Quecksilbergehalte auf dieser Karte als einzige Klasse in ocker dargestellt sind. Diese Besonderheit der Böden der Laubwälder ist auch beim Median zu erkennen (Klasse 12, Median von 0,12 mg/kg TM gegenüber dem Median des Gesamtdatensatzes von 0,05 mg/kg TM).

Der größte Teil Schleswig-Holsteins wird jedoch von Grünfarben geprägt, wobei der Unterschied zwischen

hell- und dunkelgrün auf Grund der nahe beieinander liegenden 50er- und 75er-Perzentilwerte des Gesamtdatensatzes nicht relevant ist.

Offensichtlich wird der relativ hohe 90er-Perzentilwert des Gesamtdatensatz durch die anmoorigen Oberböden und Niedermoore (Aa / Hn, AK 9) verursacht. Waldstandorte und stark humose bis torfige Grünlandstandorte weisen die höchsten Quecksilbergehalte auf. Damit wird die Affinität des Quecksilbers zur organischen Substanz deutlich.

Im Mittel stellt daher eine Konzentrationsschwelle von 0,1 mg/kg TM den oberen Erwartungswert der Quecksilbergehalte von Böden mit weniger als 15 % Humus in Schleswig-Holstein dar.

Bewertung der Messergebnisse für Quecksilber

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden, unterschieden nach Sand (0,1 mg/kg TM), Lehm / Schluff (0,5 mg/kg TM) und Ton (1,0 mg/kg TM), festgelegt. Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert für Quecksilber** von 1,0 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.7.2: Vorsorgewerte für Quecksilber (KW) für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graus Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Quecksilber Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	1,0	-	0,5	-	0,1	5	1,0	-

Überschreitungen des Vorsorgewertes von 0,1 mg/kg TM für Sande treten an insgesamt fünf Standorten auf, wovon zwei die Nutzung Grünland, zwei die Nutzung Acker und einer die Nutzung Wald aufweisen. Es sind die Humusstufe 4 (3x), und bei den beiden Ackernutzung die Humusstufe 3 und 2 vertreten.

Zwei Sandstandorte unter Wald (Humusstufe 4) weisen mit 0,1 mg/kg einen Quecksilbergehalt genau in Höhe des Vorsorgewertes auf. Die Vorsorgewert-Überschreitungen folgen keinem eindeutigen Muster. Möglicherweise ist ein erhöhter Humusgehalt auch hier die bestimmende Ursache. Beide Analysewerte der Ackerstandorte in Höhe von 0,27 und 0,24 mg/kg TM wurden bei Betrachtung der Auswertungsklassen als extreme Ausreißer identifiziert.

Die übrigen Vorsorgewerte wie auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % werden nicht überschritten; der höchste Quecksilbergehalt bei Böden aus Lehm bzw. Schluff beträgt 0,48 mg/kg.

Der **Prüfwert** für Acker und Nutzgarten von 5 mg/kg TM und der **Maßnahmenwert** für Grünland in Höhe von 2 mg/kg TM werden an keinem entsprechenden Standort erreicht.

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (Pfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

3.8 Zink (Zn)

Zink (Hauptgruppe II, Ordnungszahl 30, Atommasse 65,4 u, spezifisches Gewicht 7,13 g/cm³, 25. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente in der Erdkruste) kommt hauptsächlich in den Mineralen Sphalerit (Zinkblende), Wurtzit, Franklinit, Zinkit und Willemit in der Natur vor.

Verwendung findet Zink (2007: 665.000 t) vor allem beim Galvanisieren von Eisen- und Stahlprodukten (36 %), in Legierungen (26 %) und als Walzzink (WIRTSCHAFTS-VEREINIGUNG METALLE 2008). Anstriche mit hohem Zinkanteil wirken korrosionsschützend und sind weit verbreitet. Große Mengen Zink dienen ferner zur Erzeugung von Legierungen wie Messing oder Neusilber, zur Herstellung von galvanischen Elementen, Druckplatten, zum kathodischen Rostschutz, als Ätzmittel im Textildruck (Zinkstaub) und als Reduktionsmittel in der Metallurgie zur Gewinnung von Silber oder Gold sowie zur Herstellung von Zink-Verbindungen, z. B. in Pigmenten und Metallseifen.

Wegen seiner Bedeutung als Spurennährstoff wird Zink auch als Dünger ausgebracht. Bedeutend sind daneben die Emissionen über den Luftpfad. Kontaminationen finden sich in der Nähe von Hütten- und Industrieanlagen sowie in Straßennähe (Reifenabrieb). Weiterhin kann Zink durch Abwässer, Klärschlamm-aufbringung und über Wirtschaftsdünger in die Böden gelangen.

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens wurden die folgenden bundesweiten atmosphärischen und direkten Stoffeinträge ermittelt (UBA 2008, Gesamtdeposition Tabelle C 69, Eintragsfrachten Tabelle E 4 /5).

Stoffeinträge für Zink in g/ha*a	50er-Perz. (/min.)	90er-Perz. (/max.)
Luftpfad / Gesamtdeposition – ländlicher Raum	250	514
Luftpfad / Gesamtdeposition – Forst *	370	880
Ackerbau - Mineraldünger (min. – max.)	67	250
Ackerbau - Klärschlamm (min. – max.)	690	1270
Ackerbau - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	31	910
Grünland - Mineraldünger (min. – max.)	99	130
Grünland - Wirtschaftsdünger (min. – max.)	330	710

* jeweils der niedrigste 50er-, bzw. höchste 90er-Perzentilwert von Laub- oder Nadelwald (vergl. UBA 2008, Tab. C 86 u. E 5)

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Zink kommt weit verbreitet in Böden vor. Mit abnehmendem pH-Wert, insbesondere **ab pH < 6**, ist eine **zunehmende Zink-Löslichkeit** verbunden. Die Zink-Verfügbarkeit im Boden wird neben dem pH-Wert, von den Redoxbedingungen (bei reduzierenden Verhältnissen Bildung des schwerlöslichen Zinksulfids) und dem Stoffbestand der Böden (Gehalt an organischer Substanz, an Sesquioxiden und Tonmineralen) beeinflusst. Bei pH-Werten unter pH 5 nimmt die Affinität gegenüber Huminstoffen und Sesquioxiden stark ab, bleibt jedoch gegenüber Tonmineralen relativ hoch (BRÜMMER 1992).

Mikroorganismen reagieren mit einem Rückgang der Bodenatmung und der Kohlenstoff-Mineralisierung auf höhere Zinkgehalte, bei Regenwürmern, Schnecken und Asseln wurden Gewichtsabnahmen beobachtet. Zink ist als Bestandteil von Enzymen ein für Pflanze, Mensch und Tier essentielles Spurenelement, das erst bei hoher Konzentration toxisch wirkt. Für Pflanzen werden eher Mangelerscheinungen wie Wachstumshemmungen oder Gelbfärbung der Blätter beschrieben als phytotoxische Schäden, die nur in der Nähe von Emittenten auftauchen. Eine Gefährdung des Menschen wird erst bei außerordentlich hohen Zinkgehalten diskutiert.

Auswertung

Zink wurde an 752 Standorten im Königswasserextrakt bestimmt (davon an 55 im Mineralboden und in der Auflage); von 807 Analysen überschritten 801 die jeweilige Bestimmungsgrenze.

Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze und der Maximalwert befindet sich mit 284 mg/kg TM in einer Waldauflage. Der Median liegt bei 40,3 mg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 43,4 mg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 77,3 mg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 90,5 mg/kg TM. Die mineralischen Waldbodenhorizonte weisen insgesamt, bezogen auf Median, 75er-, 90er- und 95er-Perzentil, die niedrigsten Zink-Gehalte auf. Der höchste Median mit 47,1 mg/kg TM ist in Grünlandböden zu finden. Bei der Waldauflage ist mit 45,5 mg/kg TM ebenfalls ein erhöhtes Niveau feststellbar. Die Zink-Hintergrundwerte

sind deutlich nach Bodenarten differenziert (Sand < Lehm / Schluff < Ton).

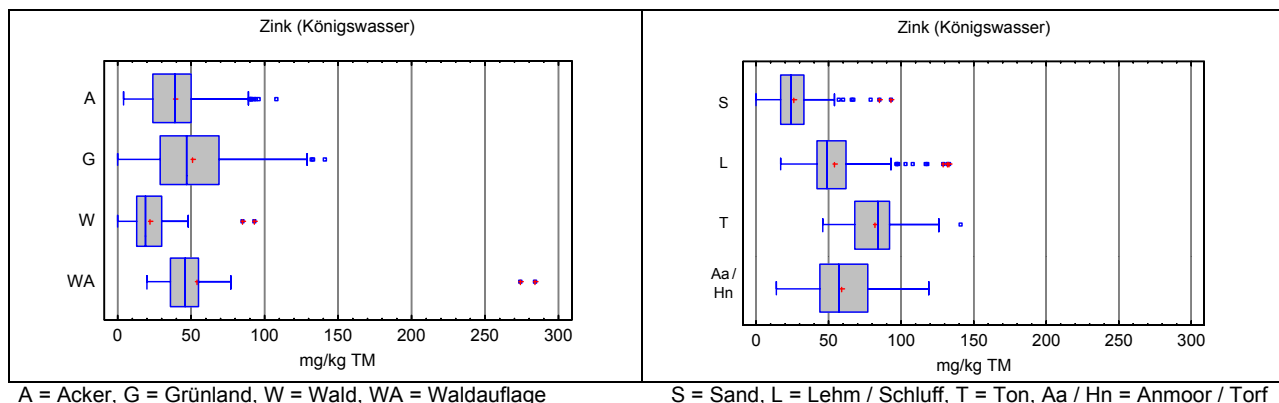


Abb. 3.8.1: Verteilung der Zinkgehalte (KW) im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 3.8.1: Hintergrundwerte Zink (KW) nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; mg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		807	40,3	56,1	77,3	90,5	284
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		752	39,6	56,1	77,8	90,7	141
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		357	38,8	49,7	62,8	74,3	108
Grünland		324	47,1	69,1	88,7	99,4	141
Wald		71	19,2	29,6	39,9	44,7	93,0
Waldauflage		55	45,5	54,6	73,1	77,2	284
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	367	23,6	32,8	43,4	48,2	93,0
	Lehm / Schluff	258	49,4	62,5	75,8	85,6	133
	Ton	56	83,9	91,8	100	124	141
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	188	24,2	35,2	45,8	49,4	67,4
Grünland	Sand	121	25,8	34,5	42,2	47,0	79,0
Wald	Sand	58	17,7	22,3	32,4	34,3	93,0
Acker	Lehm / Schluff	143	46,8	55,4	62,8	68,4	108
Grünland	Lehm / Schluff	102	60,2	72,3	90,5	103	133
Wald	Lehm / Schluff	13	38,3	40,4	44,7	-	48,4
Acker	Ton	26	75,5	90,4	93,1	93,5	96,2
Grünland	Ton	30	88,1	99,2	116	126	141
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	57,2	77,1	90,7	104	119
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	35	56,6	73,8	93,9	107	119
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	104	46,9	53,9	61,4	66,4	82,0
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	81	30,1	39,2	46,0	49,6	67,4
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	86	17,2	23,0	27,1	29,6	48,9
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	33	66,8	84,7	91,2	93,5	96,2
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	53	43,1	52,5	62,5	76,6	108
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	52	55,3	65,7	76,8	82,0	104
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	40	27,0	34,9	39,6	43,1	47,0
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	67	22,0	29,2	33,6	42,1	54,4
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	75	56,2	76,9	87,6	95,1	119
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	55	83,7	96,6	108	126	133
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	35	49,4	70,9	97,2	132	141
12- Laubwald	Diverse	35	23,3	34,3	40,4	44,7	48,4
13- Nadelwald	Diverse	(-2) 34	15,5	20,8	28,4	32,4	33,0

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 !
(-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).
Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

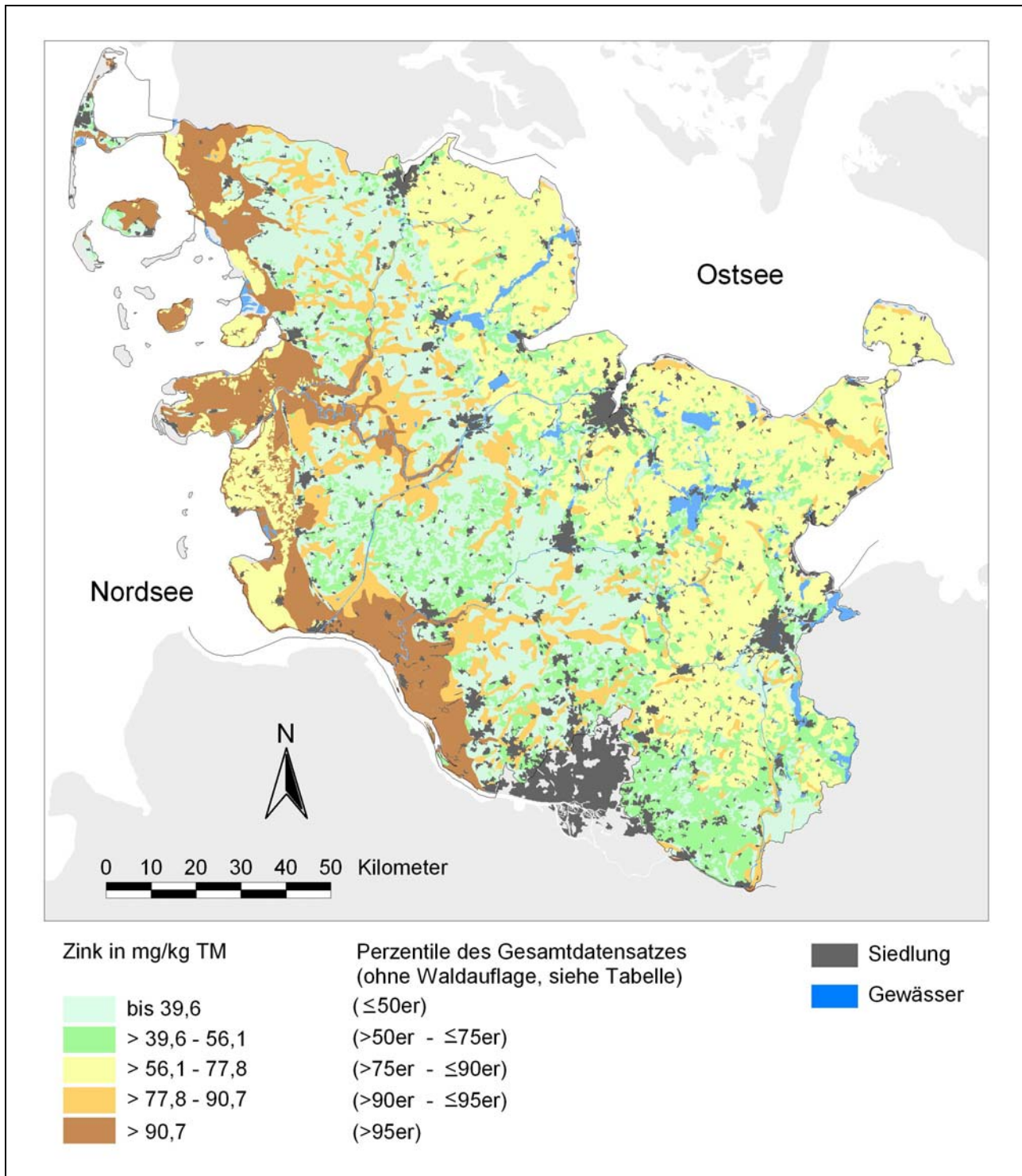


Abb. 3.8.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Zink (KW) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich sind die meisten Marschböden durch erhöhte Zinkgehalte, bezogen auf die dargestellten 90er-Perzentilwerte, gekennzeichnet. Ebenfalls als überdurchschnittlich erhöht sind die An- und Niedermoore (AK 9) einzustufen. Weite Teile der Geest weisen geringere Zinkgehalte in Böden auf.

Die Böden im Östlichen Hügelland werden von durchschnittlichen Zinkgehalten geprägt – bei Ackernutzung (90er-Perzentil AK 1: 61,4 mg/kg TM) sind geringere Zinkgehalte zu erwarten als bei Grünlandnutzung (90er-Perzentil AK 6: 76,8 mg/kg TM).

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass mit den Ton- und Schluffanteilen, aber auch mit der organischen Substanz (Torfe) die Zinkgehalte steigen.

Grünlandnutzung weist generell deutlich höhere Zinkgehalte auf als die übrigen Nutzungsformen. Hierbei ist neben den Stoffeinträgen auch die geringere Durchmischung der Böden bei Grünland zu beachten (s. Kap. 1.4)

Bewertung der Messergebnisse für Zink

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Böden unterschieden nach Sand (60 mg/kg), Lehm / Schluff (150 mg/kg) und Ton (200 mg/kg) festgelegt.

Für Böden mit Humusgehalten über 8 % wird der **Vorsorge-Hilfswert für Zink** von 200 mg/kg TM für alle Substrate verwendet (s. Kap. 1.9). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 3.8.2: Vorsorgewerte für Zink für Böden mit ≤ 8 % Humus sowie Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit > 8 % Humus, Anzahl der Überschreitungen (graus Feld)

Humusgehalt	≤ 8 % Humusgehalt						> 8 % Humusgehalt und Torf / Waldauflage	
Bodenarten	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenartunabhängig	
Zink Werte-Überschreitungen	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl
	200	-	150	31	60	4	200	-/2

Die Vorsorgewerte werden insgesamt an 35 Standorten überschritten, darunter bei den Sanden an vier Standorten (zwei Ackerstandorte und zwei Waldstandorte), bei den Lehm- und Schluffstandorten in 31 Fällen auf Grund pH-bedingter Einstufung ($< \text{pH } 6$) gemäß der Anwendungsregel der BBodSchV (s. Anlage 6). Alle letztgenannten Werte liegen zwar deutlich unter 150 mg/kg TM aber oberhalb des aufgrund des pH-Wertes anzuwendenden niedrigeren Vorsorgewerts von 60 mg/kg TM:

Die beiden Maximalwerte betragen 83 bzw. 82 mg/kg TM, 7 Messwerte liegen im Bereich 70 - 80 mg/kg TM und die übrigen 22 Messwerte zwischen 60 - 70 mg/kg TM.

Es handelt sich um Standorte des Östlichen Hügellandes (vier Acker- und 15 Grünlandstandorte) und um Marschstandorte (insbesondere Grünland). Es sind keine gebietsbezogenen Schwerpunkte erkennbar – alle Depositionsklassen (s. Kap. 1.3) sind vertreten. Eine weitergehende Interpretation ist auf Grund fehlender erkennbarer Muster nicht möglich.

Die Dominanz der Grünlandstandorte bei den Vorsorgewertüberschreitungen spiegelt die pH-Verteilung wider, wie sie in Abb. 2.3.1 dargestellt ist. Böden unter Grünland weisen auch bei den Bodenarten Lehm / Schluff und Ton sehr häufig einen $\text{pH} < 6$ auf, die pH-Abstufungsregel der BBodSchV greift daher regelmäßig – bei Ackerböden wird durch die Erhaltungskalkung bei Lehm / Schluff- und Tonböden meist der pH von 6 überschritten.

Die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % werden an zwei Waldstandorten im Auflagehorizont überschritten.

Prüf- und Maßnahmenwerte für Zinkgehalte im Boden aus dem Königswasserextrakt existieren für den Wirkungspfad **Boden-Nutzpflanze** nicht.

4 Organika – Auswertungsergebnisse des Polygonkonzeptes

4.1 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Substanzklasse von mehreren 100 Einzelverbindungen. Die Verbindungen bestehen aus kondensierten und miteinander verbundenen aromatischen Benzolringssystemen. Analytisch erfasst und aufsummiert werden bei der folgenden Auswertung die 16 so genannten ‚EPA-PAK‘ (PAK₁₆) – siehe Kap. 1.4. und **Anlage 3**. Eine dieser PAK₁₆-Verbindungen ist das Benzo(a)pyren (B(a)P); auf Grund seiner besonderen toxikologischen Bedeutung als Leitsubstanz wird es zusätzlich auch als Einzelsubstanz in Kap. 4.2 ausgewertet.

PAK entstehen bei der Erhitzung bzw. Verbrennung von organischen Materialien unter Sauerstoffmangel (unvollständige Verbrennung). Sie entstehen natürlicherweise durch Waldbrände und Vulkanismus, sind aber auch in Erdöl sowie damit in Bitumenerzeugnissen enthalten. Im Allgemeinen spielt die natürliche Bildung der PAK gegenüber der Herkunft aus anthropogenen Verbrennungsprozessen eine untergeordnete Rolle. Nur wenige PAK-Verbindungen, z. B. Carbazol, Pyren und Anthracen werden großtechnisch hergestellt und wirtschaftlich genutzt. Teerhaltige Baustoffe, wie Parkettkleber oder Fußbodenplatten, sowie teerölhaltige Anstriche sind potenzielle PAK-Quellen. Durch die Umstellung des Hausbrandes auf Gas und Öl in der Bundesrepublik Deutschland ist zwar insgesamt ein deutlicher Rückgang der PAK-Emissionen zu verzeichnen, in Regionen mit hohem Hausbrandanteil von Kohle können jedoch immer noch erhöhte PAK-Emissionen festgestellt werden. Grundsätzlich werden PAK als ubiquitär vorkommend angesehen, im urbanen Bereich ist eine höhere Grundbelastung zu erwarten. Auch der Verkehr stellt mit Abgasen, verbrauchten Schmierstoffen, Reifenabrieb und erodiertem Straßenbelag eine PAK-Quelle dar. Besonders Dieselruß steht im Verdacht, die Bildung von Karzinomen zu fördern. Bei Bodenuntersuchungen an Straßenrändern von stark befahrenen Straßen wurden in unmittelbarer Straßennähe erhöhte Werte im Boden festgestellt. Neben dieser Grundbelastung treten lokale (z. B. altlastenbürtige) Emissionen auf. Auch durch Überschwemmungsereignisse und aus anderen belasteten Materialien können PAK in den Boden eingetragen werden. Im Allgemeinen sind Belastungen von PAK in Lebensmitteln und Trinkwasser von untergeordneter Bedeutung. Ausnahmen sind gegrillte, geräucherte und geröstete Lebensmittel.

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Die PAK-Einzelverbindungen weisen eine breite Spanne unterschiedlicher Flüchtigkeiten und Wasserlöslichkeiten sowie der Adsorbierbarkeit auf, die im Wesentlichen die Mobilität von Stoffen im Boden, im Grundwasser und in der Luft bestimmen. Eine besonders hohe Mobilität in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone weist Naphthalin auf. Diese Substanz besitzt als zweikerniger Aromat (vergleichbar auch Acenaphthen und Acenaphthylen) ähnliche Eigenschaften wie die aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die übrigen PAK zeichnen sich durch eine begrenzte Mobilität in Boden, Wasser und Luft aus, die mit zunehmender molarer Masse deutlich abnimmt. Vier- und mehrkernige PAK sind weitgehend immobil. Ausnahmen sind Mineralöl- oder Teeröl-Phasen, mit denen auch höher molekulare PAK weitertransportiert werden können. PAK binden sich im Boden an die organische Substanz und können dabei ‚altern‘, d. h. dann dauerhaft gebunden bleiben. Zahlreiche PAK sind nachweislich krebserzeugend, insbesondere solche aus vier und mehr Benzolringen (siehe Kap. 4.2 mit dem Fünfringaromaten Benzo(a)pyren). Außerdem wirken viele PAK giftig auf das Immunsystem und die Leber, schädigen das Erbgut und reizen die Schleimhäute.

Auswertung

PAK₁₆ wurde an 535 Standorten bestimmt (zuzüglich 93 Waldauflagen); 603 von 628 PAK-Analysen lagen (mit mindestens einer, meist mit mehreren Einzelsubstanzen) oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen. Der Minimalwert dieses Summenparameters liegt bei der auf 0 gesetzten Bestimmungsgrenze und der Maximalwert an einem Grünlandstandort bei 14.300 µg/kg TM. Der Median liegt bei 159 µg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 360 µg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 976 µg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 1.620 µg/kg TM.

Bei den Kollektiven, differenziert nach Bodenarten, sind keine großen Unterschiede der statistischen Kenn-

werte zu erkennen. Waldauflagen und humusreiche Oberböden (Median > 450 µg/kg TM) weisen die höchsten Kennwerte auf, auch das Grünlandkollektiv ist gegenüber dem der Ackernutzung erhöht. Als Ursache ist die organische Substanz anzusehen, in der sich die PAK festlegen und anreichern.

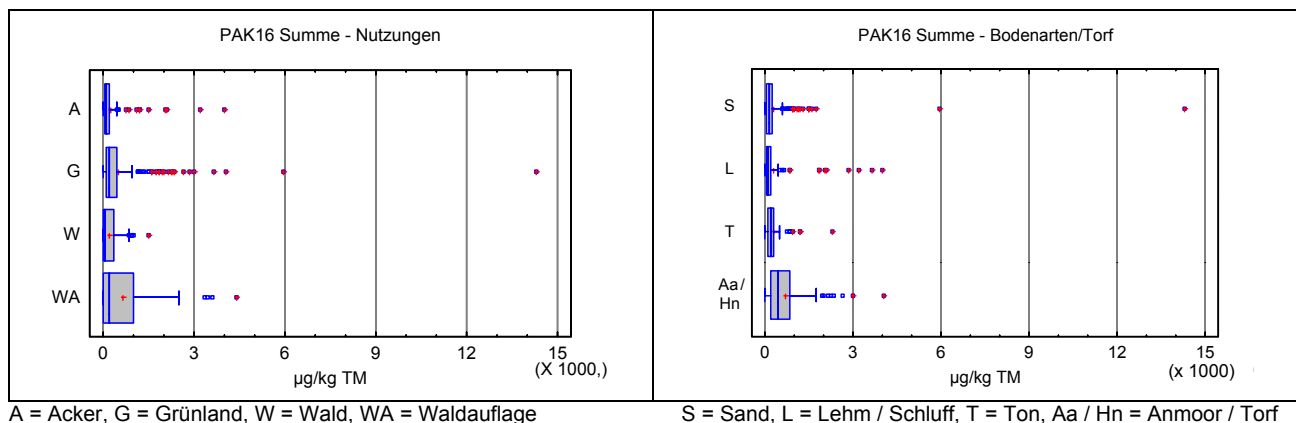


Abb. 4.1.1: Verteilung der PAK₁₆-Gehalte im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 4.1.1: Hintergrundwerte PAK₁₆ nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; µg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		628	159	399	976	1620	14300
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		535	158	332	830	1490	14300
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		187	125	220	420	760	4740
Grünland		257	213	450	1170	1950	14300
Wald		91	70	340	637	866	1510
Waldauflage		93	207	1020	1930	2520	4380
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	277	147	289	555	1080	14300
	Lehm / Schluff	137	100	212	457	1870	4000
	Ton	50	199	317	864	1181	1510
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	102	125	240	420	500	1500
Grünland	Sand	101	182	307	620	1320	14300
Wald	Sand	74	115	419	751	926	1510
Acker	Lehm / Schluff	68	101	195	424	2050	4740
Grünland	Lehm / Schluff	52	129	270	580	1870	3640
Wald	Lehm / Schluff	17	<10	180	430	-	637
Acker	Ton	17	178	246	378	-	1290
Grünland	Ton	33	282	369	868	1180	2320
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	456	892	2031	2330	4060
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	40	459	889	1738	2639	3000
Klassen (AK) 1 – 13* Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hüggell.)	(-1) 47	63	116	235	279	424
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	43	110	190	250	341	380
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	(-3) 44	157	303	420	450	500
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	(-2) 20	164	242	268	329	378
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-3) 24	135	206	424	548	759
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hüggell.)	33	123	370	1130	1620	1770
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 28	172	278	396	500	553
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	(-2) 61	181	252	377	510	1090
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	(-2) 71	450	878	1870	2290	2870
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	37	282	510	1180	2320	3640
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	(-1) 21	110	281	390	397	510
12- Laubwald	Diverse	37	<10	340	640	866	926
13- Nadelwald	Diverse	(-1) 53	95	320	650	775	1100

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 ! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**). Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

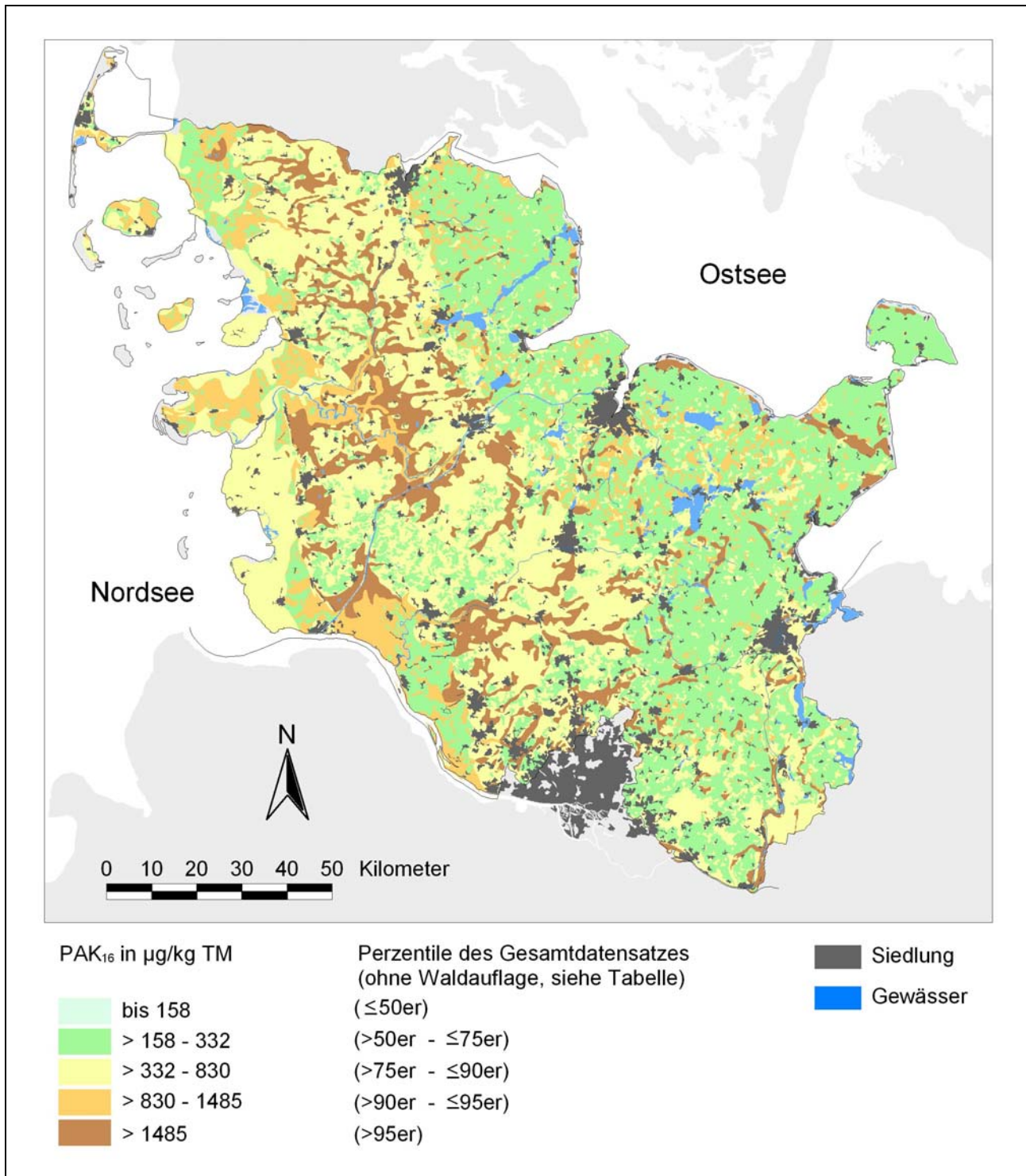


Abb. 4.1.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für PAK₁₆ gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung der PAK₁₆-Gehalte in Schleswig-Holstein lassen sich, bezogen auf die 90er-Perzentile, vor allem die An- und Niedermoore (AK 9) mit erhöhten PAK₁₆-Gehalten (braun) erkennen. Deutlich wird auch, dass Böden unter Grünlandnutzung der alten Marschen wie auch im Östlichen Hügelland durch leicht überdurchschnittliche Werte (ocker) auffallen. Ackerbaulich genutzte Böden der Marschen, der Hohen Geest und des Östlichen Hügellandes hingegen weisen tendenziell geringere PAK₁₆-Gehalte auf als der Gesamtdatensatz. Die Verteilung der PAK-Gehalte in den Böden des Landes Schleswig-

Holstein wird dort offensichtlich durch die beiden Nutzungen Acker und Grünland und die mit der Ackernutzung einhergehende Verdünnung eingetragener Stoffe (s. Kap. 1.4) gesteuert.

Bewertung der Messergebnisse für PAK₁₆

Für den Summenwert PAK₁₆ sind in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) nach Humusgehalten differenzierte Vorsorgewerte (3 mg/kg TM für Humus ≤ 8 % und 10 mg/kg TM für Humus > 8 %) aufgeführt. Im Gegensatz zur Verordnung werden die Messwerte und damit auch die Beurteilungswerte hier entsprechend der mehrheitlichen Angabe im Hintergrundwertebericht der LABO 2003 in µg/kg TM angegeben (Umrechnung siehe Seite V am Anfang).

Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 4.1.2: Vorsorgewerte für PAK₁₆, Anzahl der Überschreitungen (im grauen Feld)

	Humus ≤ 8 %		Humus > 8 %	
	µg/kg TM	Anzahl	µg/kg TM	Anzahl
PAK₁₆	3.000	4	10.000	-

Bei Böden mit Humusgehalten von bis zu 8 % wird der Vorsorgewert von 3.000 µg/kg TM an vier Standorten überschritten; jeweils zwei Grünland- und Ackerstandorte.

Bei allen Vorsorgewert-Überschreitungen handelt es sich um extreme Ausreißer (Tab. 4.1.4 grau hinterlegt, zur Ausreißerbetrachtung siehe unten).

Tab. 4.1.3: Summenstatistiken und Perzentile für PAK₁₆ (µg/kg TM), unterschieden nach Humusgehalt

	Humus ≤ 8 %	Humus > 8 %
Anzahl :	355	180
Arithm. Mittelwert	278	508
Minimum	< BG	< BG
Maximum	14.300	4.060
25er-Perzentil	49	114
50er-Perzentil - Median	124	270
75er-Perzentil	236	547
90er-Perzentil	492	1.280
95er-Perzentil	818	2.090

Die Tabelle dient dem Vergleich der nach Humusgehalten unterschiedenen Daten mit den Vorsorgewerten. Die um Ausreißer bereinigten Daten unterschreiten alle die Vorsorgewerte.

Prüf- und Maßnahmenwerte sind für den Summenwert der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆) in der BBodSchV nicht festgelegt worden.

Ausreißerbetrachtung

Der Maximalgehalt von 14.300 µg/kg wurde bei einem Boden unter Grünland festgestellt, dieser Wert wurde bei der Klassenauswertung als Ausreißer identifiziert. Insgesamt wurden an 6 Grünland-, 9 Acker- und einem Waldstandort, d. h. **16 PAK-Messergebnisse als Ausreißer** identifiziert und nicht bei der Klassenbildung (1 - 13, siehe Tab. 4.1.1) berücksichtigt. Hinzu kommen zwei Ausreißer, deren PAK bzw. B(a)P-Gehalte so deutlich erhöht waren (Benzo(a)pyren > 1000 µg/kg), dass diese PAK-Analysen vom Gesamtdatensatz ausgeschlossen wurden („generelle sehr extreme Ausreißer“, siehe Kap. 1.6).

Hier spiegeln sich die vielfältigen lokalen Eintragsmöglichkeiten von PAK auch im ländlichen Raum wider, sodass solche Böden nicht mehr als ‚stofflich gering beeinflusst‘ bezeichnet werden können. Um die Entscheidung der Ausreißereliminierung nachvollziehbar zu machen, werden die für jede Auswertungsklasse berechneten Ausreißergrenzen (3*Interquartilabstand) den Ausreißern gegenübergestellt (siehe Kap. 1.6).

Die einzelnen Messwerte der so ermittelten extremen Ausreißer (**Extremwerte** nach LABO 2003) zeigen, dass diese Ausreißergrenzen, aber insbesondere auch die 95er-Perzentilwerte durch die Ausreißer teilweise

erheblich überschritten wurden. Bei diesen deutlich erhöhten PAK-Kontaminationen ist keine Zuordnung zu Depositionsklassen möglich (siehe Kap. 1.3) – als Ursache sind lokale Verunreinigungen anzunehmen.

Tab. 4.1.4: PAK₁₆-Extremwerte im Vergleich mit den Ausreißergrenzen (µg/kg TM), Vorsorgewertüberschreitungen grau

Klasse	Kultur	Humus	Depo.klasse	95er-Perz.	Ausreißer ab 3*IQR	Messergebnis PAK ₁₆
1	A	< 8 %	2	279	>419	3382
3	A	< 8 %	4	450	>1087	1500
3	A	> 8 %	1	450	>1087	1307
3	A	< 8 %	2	450	>1087	1183
4	A	< 8 %	4	329	>777	1285
4	A	< 8 %	4	329	>777	977
5	A	< 8 %	2	548	>1198	4737
5	A	< 8 %	3	548	>1198	2082
5	A	< 8 %	2	548	>1198	2051
7	G	< 8 %	3	500	>810	1598
8	G	< 8 %	3	510	>734	14301
8	G	< 8 %	3	510	>734	5932
9	G	> 8 %	2	2293	>2960	4062
9	G	> 8 %	2	2293	>2960	3000
11	G	< 8 %	1	397	>1074	1320
13	W	> 8 %	2	775	>1049	1510

Anders beim PAK-Gesamtdatensatz: Die Daten der PAK-Gehalte der Oberböden sind die einzigen, die bei einer nach Depositionsklassen unterschiedenen Auswertung signifikante Unterschiede erkennen lassen. Bei Böden unter Grünland mit < 8 % Humus nimmt der PAK-Gehalt von Depositionsklasse 1 bis 3 deutlich zu. Bei Depositionsklasse 4 schränkt die geringe Anzahl die Interpretationsmöglichkeit ein (→ grau).

Tab. 4.1.5: PAK₁₆, Differenzierung nach Depositionsklassen bei Böden unter Grünland (µg/kg TM)

nur Böden mit < 8 % Humus	Anzahl (n)	25er-Perz.	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.
Depositionsklasse 1	59	55	100	220	370	620
Depositionsklasse 2	48	104	155	240	460	700
Depositionsklasse 3	57	115	236	450	1050	1500
Depositionsklasse 4	13	56	191	350	1030	-

Weiterführende Informationen zu PAK in Oberböden sind beispielsweise bei GRAS et al. (UMWELTBHÖRDE HAMBURG 2000) enthalten.

4.2 Benzo(a)pyren

Von besonderer Bedeutung für die Bewertung der Stoffklasse der PAK bezüglich der krebserzeugenden Wirkung ist die Leitsubstanz **Benzo(a)pyren**. Dieser Substanz werden ca. 30 - 50 % der krebserzeugenden Potenz üblicher PAK-Gemische zugeordnet. Aus diesem Grunde finden sich für diesen Leitparameter in der BBodSchV eigene Vorsorge- und Prüfwerte.

Bezüglich Herkunft und Verhalten in der Umwelt gilt das in Kap. 4.1 zu PAK Ausgeführte.

Auswertung

Benzo(a)pyren wurde an 535 Standorten bestimmt (zuzüglich 93 Waldauflagen); 487 von 628 Analysen überschritten die jeweilige Bestimmungsgrenze. Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze und der Maximalwert befindet sich an einem Grünlandstandort bei 673 µg/kg TM. Der Median liegt bei 10 µg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 32 µg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 62 µg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 110 µg/kg TM.

Bei den Kollektiven, differenziert nach Bodenarten, sind keine großen Unterschiede der Hintergrundwerte zu erkennen. Niedermoortorf und Waldauflagen weisen die höchsten Kennwerte auf, auch das Grünlandkollektiv ist wie bei PAK₁₆ gegenüber der Ackernutzung leicht erhöht. Als Ursache ist die organische Substanz an-

zusehen, in der sich Benzo(a)pyren – als Vertreter der weniger mobilen PAK - anreichert und festlegt, sowie die Verdünnung eingetragener Stoffe durch den bei Acker stattfindenden Umbruch (s. Kap. 1.4).

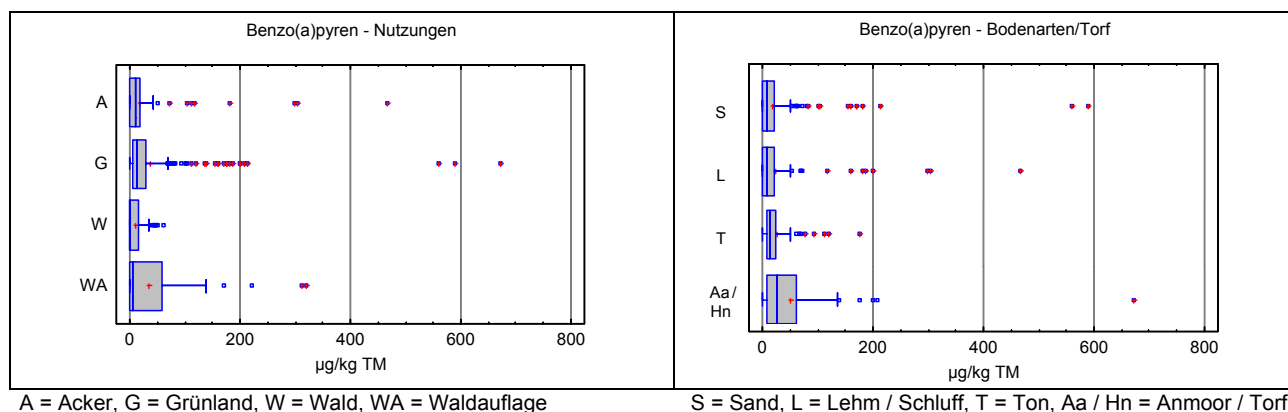


Abb. 4.2.1: Verteilung der Benzo(a)pyren-Gehalte im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf, skaliert

Tab. 4.2.1: Hintergrundwerte Benzo(a)pyren nach Nutzung, Bodenarten/Torf und Klassen differenziert; µg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		628	10	26	62	110	673
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		535	10	23	60	103	673
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		187	10	18	30	43	466
Grünland		257	13	30	80	160	673
Wald		91	<1	16	31	45	60
Waldauflage		93	50	58	82	140	320
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	277	8	20	40	61	590
	Lehm / Schluff	137	8	20	46	160	466
	Ton	50	15	25	74	113	177
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	102	9	20	30	40	180
Grünland	Sand	101	9	23	64	156	590
Wald	Sand	74	1	16	31	46	60
Acker	Lehm / Schluff	68	8	16	34	118	466
Grünland	Lehm / Schluff	52	10	21	70	180	201
Wald	Lehm / Schluff	17	<1	9	30	-	45
Acker	Ton	17	12	16	30	-	113
Grünland	Ton	33	18	31	78	120	177
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	26	60	103	175	673
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	40	19,5	58,2	80,0	206	673
Klassen (AK) 1 – 13 * Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-1) 47	<1	10	20	23	34
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	43	6	15	22	30	40
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	(-2) 45	10	20	30	40	50
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	(-2) 20	10	16	30	30	30
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-3) 24	12	19	30	40	43
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	33	10	50	82	170	214
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	(-1) 28	10	22	45	52	64
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	(-2) 61	7	16	29	52	80
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	(-1) 72	25	60	113	180	208
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	37	18	60	120	177	186
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	(-1) 21	12	20	30	45	70
12- Laubwald	Diverse	37	<1	20	30	46	50
13- Nadelwald	Diverse	(-1) 53	<1	12	31	42	48

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 ! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**).

Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

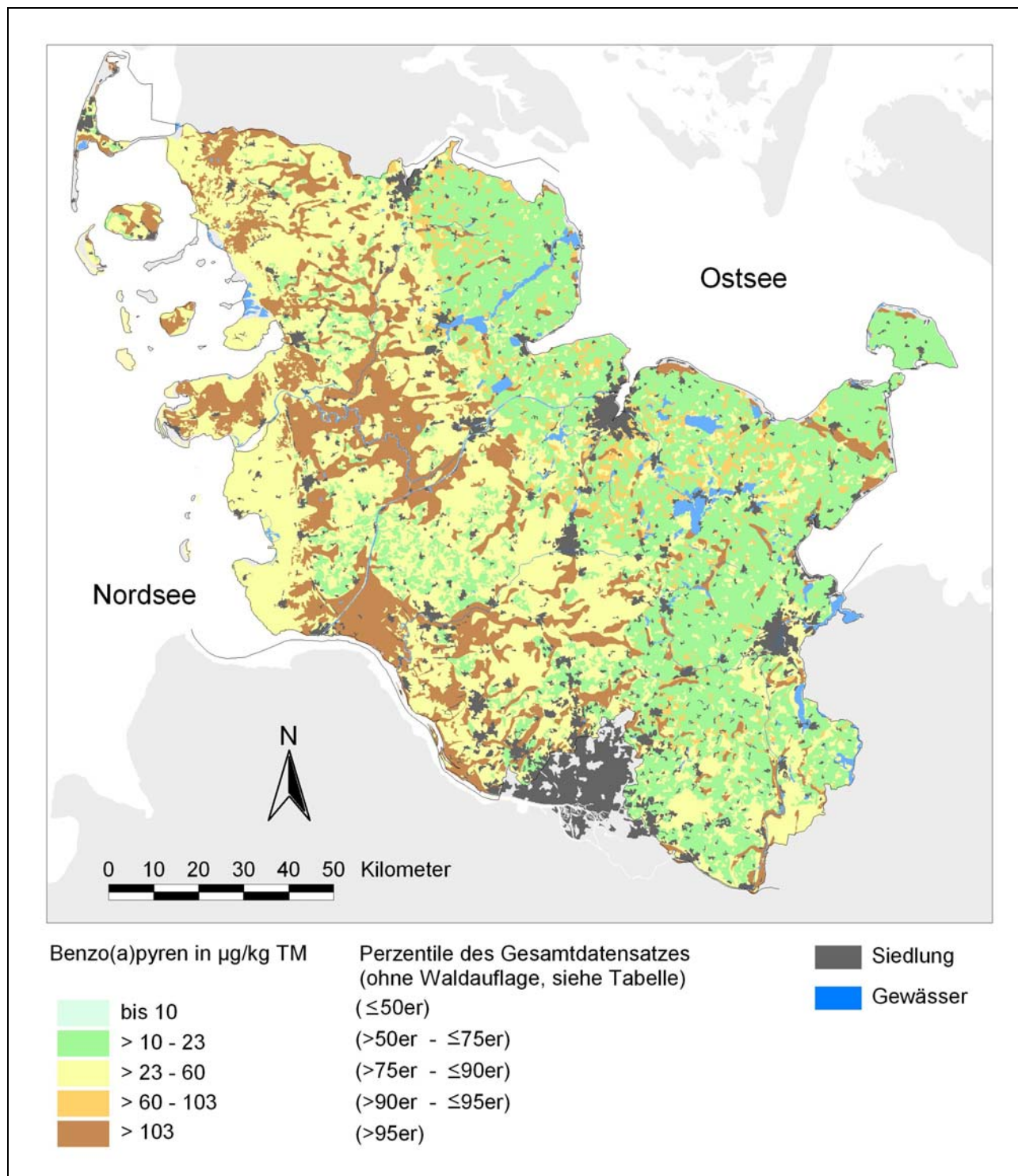


Abb. 4.2.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Benzo(a)pyren gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Wie bei den PAK₁₆-Gehalten, liegen bei An- und Niedermoorböden (AK 9) gegenüber dem Gesamtdatensatz entsprechend deutlich erhöhte Benzo(a)pyren-Gehalte vor. Ebenfalls vergleichbar weisen die Böden unter Grünlandnutzung in der Marsch wie auch die als Grünland genutzten Parabraunerden des Östlichen Hügellandes überdurchschnittliche Werte auf.

Durch die leicht höheren Benzo(a)pyren-Gehalte bei Böden aus Ton wird die Auswertungsklasse 10 (Böden

der alten Marsch unter Grünland) im Vergleich zur Karte der PAK₁₆-Verteilung in braun statt ocker dargestellt – sonst sind die Karten, wie zu erwarten, gleich. Ackerbaulich genutzte Böden der Marschen, der Hohen Geest und des Östlichen Hügellandes weisen in Übereinstimmung mit den PAK₁₆-Gehalten ebenfalls tendenziell geringere Benzo(a)pyren-Gehalte auf.

Bewertung der Messergebnisse für Benzo(a)pyren

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden **Vorsorgewerte** für Benzo(a)pyren in Bodenmaterial unterschieden nach Humusgehalten festgelegt: 0,3 mg/kg TM für Humus ≤ 8 % und 1 mg/kg TM für Humus > 8 %. Im Gegensatz zur Verordnung werden die Messwerte und damit auch die Beurteilungswerte hier LABO-konform in µg/kg TM angegeben (Umrechnung siehe Seite V am Anfang). Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 4.2.2 : Vorsorgewerte für Benzo(a)pyren, Anzahl der Überschreitungen (grau hinterlegt)

	Humus ≤ 8 %		Humus > 8 %	
	µg/kg TM	Anzahl	µg/kg TM	Anzahl
Benzo(a)pyren	300	4	1000	-

Der Vorsorgewert für Benzo(a)pyren in Böden mit Humusgehalten über 8 % wird nicht überschritten. Bei den Böden mit Humusgehalten von bis zu 8 %, wird der Vorsorgewert von 300 µg/kg TM an 4 Standorten überschritten. Je zwei dieser Standorte sind Grünland und Acker.

Tab. 4.2.3: Summenstatistiken und Perzentile für Benzo(a)pyren, unterschieden nach Humusgehalt in µg/kg TM

	Humus ≤ 8 %	Humus > 8 %
Anzahl	355	180
Arithm. Mittelwert	21	35
Minimum	<1	<1
Maximum	590	673
25,0%	<2	4
50,0%	8	16
75,0%	19	40
90,0%	40	79
95,0%	71	154

Die Tabelle dient wiederum dem Vergleich der nach Humusgehalten unterschiedenen Daten mit den Vorsorgewerten. Die um die Ausreißer bereinigten Daten unterschreiten die Vorsorgewerte.

Die Ausführungen zu den Ausreißern bei PAK₁₆ gelten für B(a)P entsprechend.

Der **Prüfwert für den Pfad Boden-Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und Nutzgarten** (Pflanzenqualität) von 1000 µg/kg TM wird von keiner Probe überschritten.

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (Wirkungspfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

4.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB₆) nach Ballschmiter

Die Stoffgruppe der Polychlorierten Biphenyle (PCB) umfasst alle chlorierten Derivate des Biphenyl-Ringes. In Abhängigkeit von der Position und der Anzahl (1 - 10, Monochlor bis Decachlor) der Chloratome gibt es 209 verschiedene PCB, so genannte ‚Kongenere‘. Bei den technisch eingesetzten PCB handelt es sich entsprechend der vorgesehenen Anwendung um Mischungen verschiedener Kongenere mit unterschiedlichem Chloranteil (typische ehemalige technische Chloranteile betragen 42 %, 48 %, 54 %, 60 %).

Bis 1982 wurden PCB in der Bundesrepublik in großtechnischem Maßstab hergestellt. Sie wurden als Isolierflüssigkeiten in Transformatoren und Kondensatoren, als Weichmacher in Kunststoffen (Fugendichtungsmassen, Deckenverkleidungen, Kabelummantelungen u. ä.), als Flammschutzmittel in Wandfarben, Lacken, Klebstoffen sowie in Hydraulikölen eingesetzt. In Gebäuden können PCB vor allem in Anstrichen und Klebstoffen, Dichtungsmassen aller Arten von Fugen, Kunststoffen mit Weichmachern, alten Leuchtenkondensatoren sowie als Schalrückstände bei Betonbauteilen vorkommen. Der Eintrag von PCB in den Boden erfolgt, abgesehen von Unfällen, über die Atmosphäre (trockene und nasse Deposition) und über das Aufbringen von Baggerschlamm und Bioabfall. Entsprechend der Entfernung zu möglichen Emittenten variieren die Konzentrationen.

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

Polychlorierte Biphenyle sind bei Zimmertemperatur flüssig oder fest und in Wasser nur schwer löslich, lipophil, schwer entflammbar, elektrisch nicht leitend und werden biologisch kaum abgebaut. Die Eigenschaften der polychlorierten Biphenyle hängen im Einzelnen von ihrem Chlorierungsgrad ab. So nehmen die Wasserlöslichkeit, die Flüchtigkeit und die Reaktivität mit zunehmendem Chloranteil ab, während die Fettlöslichkeit, die Stabilität und die Anreicherungstendenz in Organismen zunehmen. Im Boden werden PCB insbesondere an Humus gebunden (hydrophobe Bindung). Die Tongehalte beeinflussen die Sorption nicht. Mit markierten PCB wurden hohe Flüchtigkeiten in die Luft, geringe Bewegung im Boden und eine geringe Belastung der Pflanzen festgestellt. Die PCB gelten als äußerst persistent in der Umwelt. Diese Stabilität und Langlebigkeit zeigt sich auch darin, dass trotz des langen Verbotes (seit 1976 keine Anwendung in offenen Systemen, seit 1983 Produktionsstopp, ab 1989 generelles Anwendungsverbot bis auf wenige Ausnahmen) immer noch PCB in der Umwelt analysiert werden können. Trotz ihrer Stabilität können einzelne PCB durch Hydrolyse, Photoabbau und thermische Zersetzung umgewandelt werden.

PCB zeichnen sich weniger durch eine akute Giftigkeit als vielmehr durch ein hohes Gesundheitsrisiko bei dauerhafter Belastung aus. Weil sie nur sehr langsam biologisch abgebaut werden und fettlöslich sind, können sie sich im Fettgewebe anreichern. Neben der beim Menschen wahrscheinlichen und im Tierversuch nachgewiesenen krebserzeugenden Wirkung führen sie zu Beeinträchtigungen des Immunsystems und der Fortpflanzungsfähigkeit sowie zu Schädigungen des Zentralnervensystems, des Blutes, der Leber und der Nieren.

Einzelne PCB-Kongenere sind in ihrer Struktur Dioxinen ähnlich (dioxin-like PCB = dl-PCB). Es liegen zwar einzelne Daten für diese Kongenere vor, eine Auswertung im Rahmen dieses Berichtes erfolgt nicht, diese wird gesondert veröffentlicht.

Auswertung

Aus der Gruppe der PCB liegen Messergebnisse von 18 Einzelverbindungen vor. Die einschlägigen Regelwerke sehen eine Summenbildung von 6 dieser Einzelverbindungen nach Ballschmiter (PCB₆) vor (s. Kap. 1.4 und **Anlage 3**). PCB₆ wurde an 538 Standorten (92 davon auch in Waldauflagen) bestimmt, wobei bei 387 von 630 Analysen mindestens eines der sechs Kongenere die jeweilige Bestimmungsgrenze überschritt. Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze, der Maximalwert mit 153 µg/kg TM befindet sich an einem Waldstandort (Auflagehorizont). Der Median liegt bei 1,50 µg/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 5,94 µg/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 15,8 µg/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 36,0 µg/kg TM. Die nach Bodenarten sortierten Kollektive weisen ähnliche statistische Kennzahlen (Median 1 - 2 µg/kg TM, 90er-Perzentil bis 6,1 µg/kg TM) auf, Niedermoortorfe zeigen im Vergleich dazu höhere Werte. Ausschließlich die Waldauflagen weichen von allen übrigen Kennwerten mit einem Median von 20,9 µg/kg TM deutlich ab, dies ist auf den luftgetragenen Eintrag der Stoffe zurückzuführen.

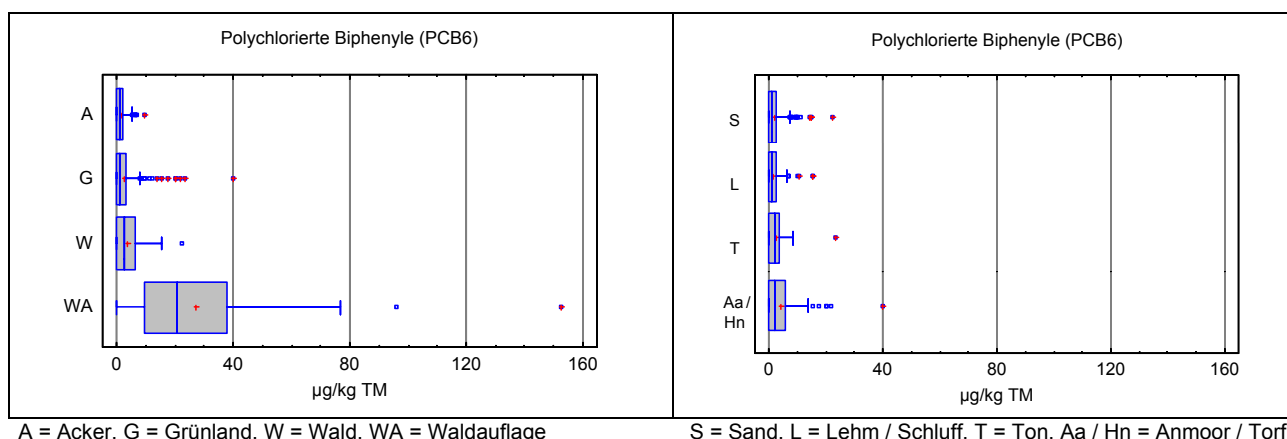


Abb. 4.3.1: Verteilung der PCB₆-Gehalte im Boden, unterschieden nach Nutzungen und Bodenarten / Torf

Tab. 4.3.1: Hintergrundwerte PCB₆ nach Nutzung, Bodenarten / Torf und Klassen differenziert; µg/kg TM

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		630	1,50	4,69	15,8	36,0	153
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		538	1,24	3,00	6,39	8,70	40,2
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		187	1,02	2,08	3,60	4,50	9,51
Grünland		259	1,27	3,16	6,39	8,70	40,2
Wald		92	2,54	6,40	10,1	14,8	22,2
Waldauflage		92	20,9	37,7	54,4	71,3	153
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	279	1,27	2,90	6,11	8,20	22,2
	Lehm/Schluff	138	0,96	2,67	4,69	6,76	15,4
	Ton	50	1,97	3,90	5,84	6,65	23,6
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	102	0,90	1,70	2,97	4,03	9,51
Grünland	Sand	102	1,29	2,70	3,90	5,00	9,50
Wald	Sand	75	2,39	6,49	9,51	14,6	22,2
Acker	Lehm / Schluff	68	0,87	2,32	3,00	3,95	6,39
Grünland	Lehm / Schluff	53	0,95	2,20	4,45	5,41	7,02
Wald	Lehm / Schluff	17	3,47	6,94	15,2	-	15,4
Acker	Ton	17	2,70	4,22	5,13	-	5,38
Grünland	Ton	33	1,50	3,16	6,50	8,60	23,6
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	71	2,20	6,10	12,2	20,0	40,2
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	40	1,80	7,00	17,3	20,0	40,2
Klassen (AK) 1 – 13 * Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	48	0,74	1,53	3,07	3,95	6,39
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	(-2) 41	<0,10	1,43	2,87	3,05	4,64
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	47	1,32	1,73	2,97	3,60	6,46
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	(-1) 21	2,57	3,88	5,13	5,38	11,3
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	(-1) 26	1,44	2,08	2,91	3,99	6,71
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-1) 32	1,01	1,37	1,87	4,24	4,69
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	29	1,33	3,60	5,00	5,20	6,39
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	(-2) 62	1,28	2,29	3,00	4,37	8,80
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	(-1) 72	2,21	5,48	9,00	15,6	20,0
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	(-1) 37	1,50	2,50	4,50	5,40	8,60
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	22	<0,10	3,27	6,70	6,76	7,02
12- Laubwald	Diverse	37	3,22	6,49	10,1	10,7	14,6
13- Nadelwald	Diverse	55	2,04	6,73	14,8	15,4	22,2

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 ! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**). Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrößen.

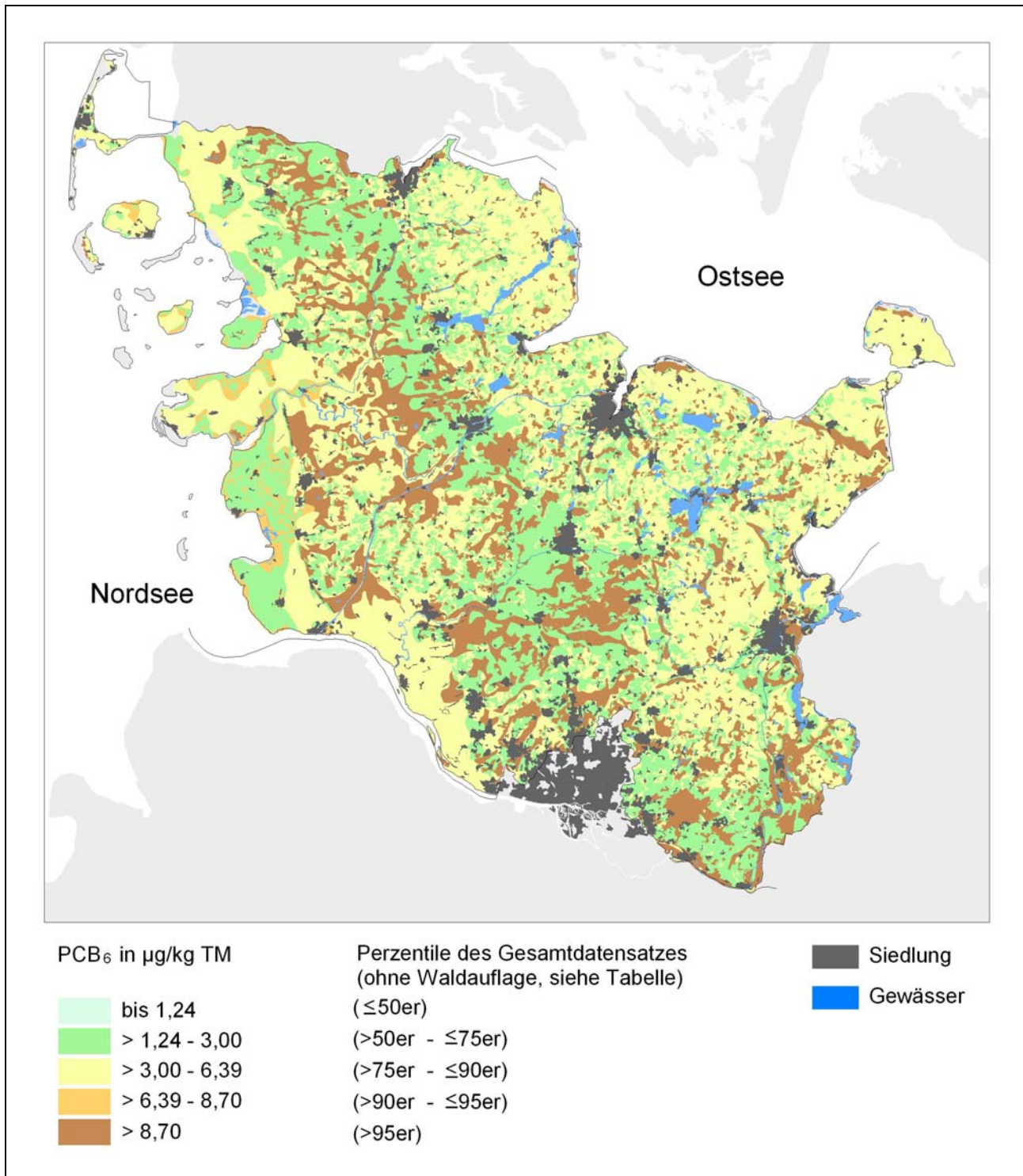


Abb. 4.3.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für polychlorierte Biphenyle (PCB₆) gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

Im landesweiten Vergleich weisen die Waldböden die höchsten 90er-Perzentilwerte bei PCB₆ auf und sind in braun dargestellt. Ein Unterschied zwischen Böden unter Laub- und Nadelbäumen ist nach den statistischen Kennzahlen nicht erkennbar (vergleiche auch den Median und die 75er-Perzentile). Die An- und Niedermoorbereiche sind ebenfalls gegenüber den übrigen Bereichen erhöht und daher auch braun gefärbt. Dabei wird die Affinität der PCB zur organischen Substanz erkennbar. Leicht erhöht bezüglich des 90er-Perzentils sind die Böden unter Grünland der jungen Marsch (AK 11), bezüglich des Medians (und des 75er-Perzentils) tritt dieser Effekt nicht auf – die Homogenität dieses mit n = 22 relativ kleinen Kollektivs ist offensichtlich ein-

geschränkt.

Die übrigen Auswertungsklassen weisen auf eine einheitliche Verteilung der PCB in Schleswig-Holstein hin.

Bewertung der Messergebnisse für PCB₆

Für PCB₆ sind in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) nach Humusgehalten differenzierte **Vorsorgewerte** (0,05 mg/kg TM für Humus ≤ 8 % und 0,1 mg/kg TM für Humus > 8 %) aufgeführt. Im Gegensatz zur Verordnung werden die Messwerte und damit auch die Beurteilungswerte hier entsprechend der mehrheitlichen Angabe im Hintergrundwertebericht der LABO 2003 in µg/kg TM angegeben (Umrechnung siehe Seite V).

Folgende Überschreitungen treten auf:

Tab. 4.3.2: Vorsorgewerte für PCB₆, Anzahl der Überschreitungen (grau hinterlegt)

	Humus ≤ 8 %		Humus > 8 %	
	µg/kg TM	Anzahl	µg/kg TM	Anzahl
PCB₆	50	-	100	1

Das Gesamtniveau ist, bezogen auf die Vorsorgewerte, insgesamt sehr niedrig. Für Böden mit Humusgehalten bis 8 % konnten keine Überschreitungen festgestellt werden. Bei Böden mit Humusgehalten > 8 % wird der Vorsorgewert von 100 µg/kg TM bei nur einem Waldstandort im Auflagehorizont überschritten. Dabei ist auch die geringe Trockenraumdichte der Auflagehorizonte zu berücksichtigen (s. Kap. 1.9).

Tab. 4.3.3: Summenstatistiken und Perzentile für PCB₆, unterschieden nach Humusgehalt in µg/kg TM

Perzentile	Humus ≤ 8 %	Humus > 8 %
Anzahl:	357	181
Arithm. Mittelwert	1,81	3,37
Minimum	<0,10	<0,10
Maximum	15,4	40,2
25,0%	<0,10	<0,10
50,0% - Median	1,23	1,32
75,0%	2,80	4,81
90,0%	4,65	8,6
95,0%	6,50	14,9

Die beiden Tabellen dienen dem Vergleich mit den Vorsorgewerten, die nach Humusgehalt unterschieden werden.

Ein Vergleich mit dem **Maßnahmenwert für Grünland** der BBodSchV von 200 µg/kg TM zeigt keine Überschreitungen.

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (Wirkungspfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

Weitere Informationen zur Stoffklasse der PCB finden sich beispielsweise bei den Veröffentlichungen der LFU (1995) und des BLFU (2006 und 2007).

4.4 Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF)

Dioxine und Furane sind Stoffgruppen, die in der Natur nahezu nicht vorkommen; natürlicherweise ist die Bildung dieser Stoffe allenfalls bei Waldbränden möglich. Sie werden vom Menschen weder gezielt hergestellt noch benötigt, sondern sind ein unerwünschtes Nebenprodukt bei Verbrennungsprozessen und bei der Synthese chlorierter organischer Verbindungen. Die Problematik der „Substanz Dioxin“ gelangte 1976 durch die Seveso-Katastrophe in die Schlagzeilen. Der für Warmblüter toxischste Vertreter der Gruppe der Dioxine, das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin wird auch heute noch als ‚Seveso-Dioxin‘ bezeichnet. Dioxine gehören zur Gruppe der halogenierten aromatischen Kohlenwasserstoffe und werden umgangssprachlich häufig als Überbegriff für die Stoffgruppen der polychlorierten Dibenzodioxine und der polychlorierten Dibenzofurane verwendet. Im Einzelnen umfassen diese beiden Gruppen 75 polychlorierte Dioxine (PCDD) und 135 polychlorierte Furane (PCDF). Für die Bewertung dieser Stoffgruppen werden insbesondere 17 Einzelverbindungen (Kongenere) betrachtet, die alle, wie das toxische 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin, an den Positionen 2,3,7 und 8 Chloratome aufweisen. Sind zusätzliche Chloratome im Molekül enthalten, sind die Substanzen bei weitem nicht mehr so toxisch wie das ‚Seveso-Dioxin‘. Um diesen Effekt bei der Bewertung zu berücksichtigen, werden die gemessenen Konzentrationen über Toxizitätsäquivalentfaktoren, bezogen auf das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (dieses mit einem Faktor von 1, höherchlorierte PCDD und PCDF mit kleineren Faktoren), verrechnet und aufsummiert (siehe [Anlage 3](#)).

Herkunft

PCDD/PCDF können u. a. in Verbrennungsanlagen bei Vorhandensein von Chlor in einem Temperaturfenster von ca. 300 - 600°C entstehen. Dies gilt auch für die Verbrennung von Materialien mit weiteren chlorierten organischen Verbindungen wie PVC, Chlorphenolen, Chlorbenzolen oder polychlorierten Biphenylen (PCB). Moderne Verbrennungsanlagen vermeiden durch optimierte Temperaturführung und Filtertechnik weitgehend die Bildung von PCDD/PCDF. Spezielle Verbrennungsanlagen, wie Kabelabbrennanlagen sind als ‚Dioxinfälle‘ mit erheblichen Umwelteinwirkungen bekannt geworden. Dioxine entstehen darüber hinaus bei der Stahl-, der Aluminium- und Kupferherstellung, beim Bleichen in der Papierindustrie und der Schrotterwertung. PCP-haltige Holzschutzmittel, die in den letzten Jahrzehnten häufig verwendet wurden, können aus dem Herstellungsprozess mit PCDD/PCDF verunreinigt sein. Über Pflanzenschutzmittel u. a. chlororganische Biozide können früher Umwelt und Böden belastet worden sein. Altöle sowie aus ihrer Rückgewinnung hergestellte Zweitraffinate enthalten PCBs sowie Spuren von PCDD/PCDF. Ein diffuser Anfall entsteht durch häusliche Feuerungsanlagen und durch die Abgase der Kraftfahrzeuge.

Verhalten in der Umwelt und Wirkung

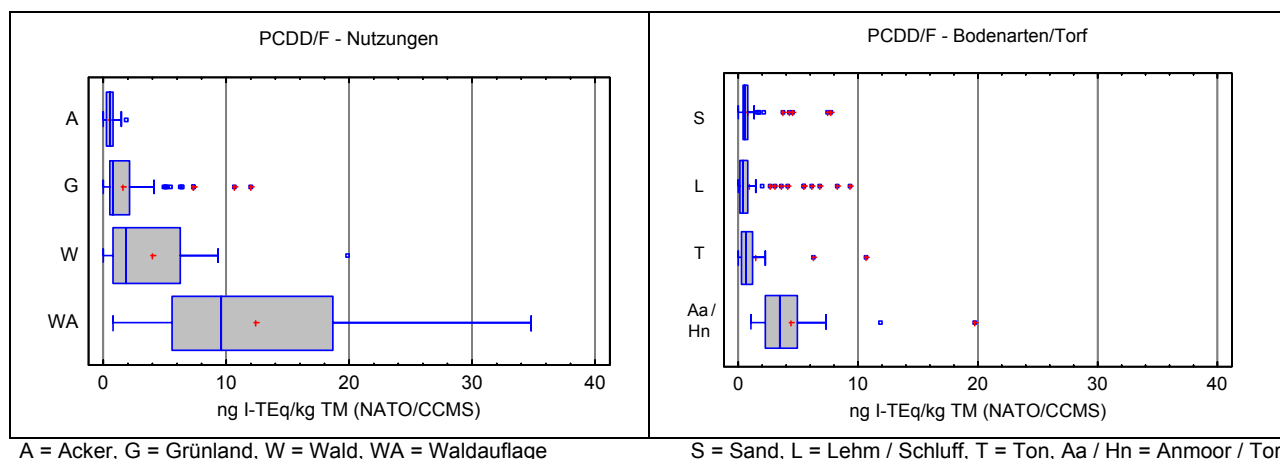
PCDD/PCDF sind wie die PCB unter Umweltbedingungen äußerst stabile und langlebige Verbindungen. Sie sind in Wasser praktisch unlöslich. Biologisch sind unter günstigen Bedingungen nur niederchlorierte PCDD/PCDF durch Spezialisten (z. B. Lignin-abbauende Pilze) transformierbar; die üblicherweise betrachteten toxischen Kongenere sind biologisch nicht abbaubar. Aufgrund dieser Persistenz neigen PCDD/PCDF zur längerfristigen Anreicherung unter anderem in Böden mit erhöhtem Humusanteil. Daraus erklärt sich auch der höhere Anteil dieser Verbindungen in Waldauflagen und Böden aus Torf. PCDD/PCDF gelangen größtenteils über den atmosphärischen Eintrag in die Umweltmedien. Direkte Einträge auf und in den Boden sind über Klärschlamm, Papierpulpe und ggf. über Bioabfälle und Biozide möglich.

Dioxine und Furane sind sehr giftige Substanzen. Auf Grund ihrer lipophilen (‚fettliebenden‘) Eigenschaft lagern sie sich bevorzugt in Fettgewebe, in Leber, Nieren und Milz ab und reichern sich dort an. Die Stoffe sind erbgutschädigend, fetotoxisch und krebserzeugend, wobei sie die Eigenschaft haben, die Entwicklung der Tumorbildung zu fördern (Tumorpromotoren). Weitere Effekte sind u. a. Gewichtsverluste, Störungen des Immunsystems, Lebertoxizität sowie dermale Toxizität. Die Wirkung unterscheidet sich bei verschiedenen Arten teils erheblich. Chlorakne ist das charakteristische und am häufigsten feststellbare akute Wirkungssymptom beim Menschen. Für den Menschen ist die tödliche Grenzdosis nicht bekannt.

Auswertung

Aus der Gruppe der Dioxine und Furane liegen Messergebnisse von 17 Einzelverbindungen sowie die nach einschlägigen Regelwerken gebildeten Summen vor. Hier dargestellt wird ausschließlich die Summe der

Toxizitätsäquivalente nach dem **internationalen Vorschlag der NATO/CCMS** (ohne BG, s. Kap. 1.6) - das Kürzel „I-TEq“ verweist mit dem vorgestellten „I-“ auf die spezifischen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (siehe Anlage 4). Das betrachtete Datenkollektiv enthält 295 entsprechende PCDD/PCDF-Summenwerte.



A = Acker, G = Grünland, W = Wald, WA = Waldauflage

S = Sand, L = Lehm / Schluff, T = Ton, Aa / Hn = Anmoor / Torf

Abb. 4.4.1: Verteilung der PCDD/PCDF-Gehalte im Boden (lower bound), nach Nutzungen und Bodenarten/Torf

Tab. 4.4.1: Dioxine und Furane Hintergrundwerte nach Nutzung, Bodenarten/Torf und Klassen differenziert; ng I-TEq/kg TM (lower bound)

Nutzung	Bodenarten / Torf (Bodenklasse BK)	Anzahl (n)	50er-Perz. Median	75er-Perz.	90er-Perz.	95er-Perz.	Maximalwert
Gesamtdatensatz							
Gesamtdaten		295	0,67	1,42	5,60	9,36	34,8
Gesamtdaten ohne Waldauflagen		272	0,65	1,21	3,68	5,50	12,0
Kollektive nach Nutzung ausgewertet							
Acker		117	0,48	0,76	1,00	1,26	1,80
Grünland		132	0,76	2,14	4,15	6,26	12,0
Wald		23	1,84	5,60	7,83	8,28	9,36
Waldauflage		23	9,65	18,67	22,2	33,8	34,8
Kollektive nach Bodenarten ausgewertet (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)							
	Sand	125	0,65	0,89	1,24	1,84	7,83
	Lehm / Schluff	97	0,48	0,84	2,68	5,60	9,36
	Ton	21	0,68	1,26	2,29	6,35	10,7
Kollektive nach Nutzung und Bodenarten / Torf ausgewertet							
Acker	Sand	58	0,59	0,84	1,02	1,24	1,80
Grünland	Sand	50	0,64	0,81	1,02	1,22	3,82
Wald	Sand	17	1,21	2,16	7,51	-	7,83
Acker	Lehm / Schluff	50	0,43	0,55	0,83	0,93	1,35
Grünland	Lehm / Schluff	41	0,49	1,18	2,68	3,68	6,26
Wald	Lehm / Schluff	6	6,26	8,28	9,36	-	9,36
Acker	Ton	9	0,30	0,68	1,44	-	1,44
Grünland	Ton	12	0,79	2,12	6,35	-	10,7
Grünland	Aa / Hn, h>15 %	29	3,54	5,02	7,33	7,34	12,0
Grünland	Torfe (Hn), h>30 %	19	3,73	5,45	7,34	-	12,0
Klassen (AK) 1 – 13 * Kollektive nach Nutzung und aggregierten Bodenformen der BÜK 500 ausgewertet							
1- Acker	BK 1 (Östl. Hügell.)	41	0,45	0,52	0,63	0,67	0,84
2- Acker	BK 2 (Hohe Geest)	28	0,56	0,90	1,21	1,33	1,80
3- Acker	BK 3 (Vorgeest)	26	0,59	0,84	1,00	1,02	1,24
4- Acker	BK 5 (Alte Marsch)	10	0,32	0,68	1,06	-	1,26
5- Acker	BK 6 (Jun. Marsch)	12	0,22	1,15	1,35	-	1,44
6- Grünland	BK 1 (Östl. Hügell.)	(-2) 24	0,47	0,70	1,21	1,40	1,42
7- Grünland	BK 2 (Hohe Geest)	16	0,64	0,76	0,82	-	1,00
8- Grünland	BK 3 (Vorgeest)	30	0,60	0,81	0,99	1,20	1,22
9- Grünland	BK 4 (Anmoor /Torfe)	(-1) 29	3,21	4,88	6,42	7,33	7,34
10- Grünland	BK 5 (Alte Marsch)	(-1) 11	0,75	1,05	2,29	-	3,68
11- Grünland	BK 6 (Jun. Marsch)	18	0,99	1,95	6,29	-	6,35
12- Laubwald	Diverse	10	5,55	7,83	8,82	-	9,36
13- Nadelwald	Diverse	(-2) 11	0,68	1,21	1,36	-	2,16

* = Grundlegendes zur Klassenbildung siehe Kap. 1, Klassenerläuterungen siehe Tabelle 1.3.2 (S. 4), h = Humusgehalt, kursiv: n < 20 ! (-2) = herausgenommene Zahl der extremen Ausreißer (Kap. 1.7) - = zu geringe Anzahl von auswertbaren Datensätzen

Die tendenzielle Verteilung der 90er-Perzentile der Auswertungsklassen in Schleswig-Holstein – grau hinterlegter Block – ist auf der folgenden Karte dargestellt (**beachte Hinweise Kap. 1.8**). Die rosa hinterlegten Perzentile des Gesamtdatensatzes bestimmen die Konzentrations- und Farbgrenzen.

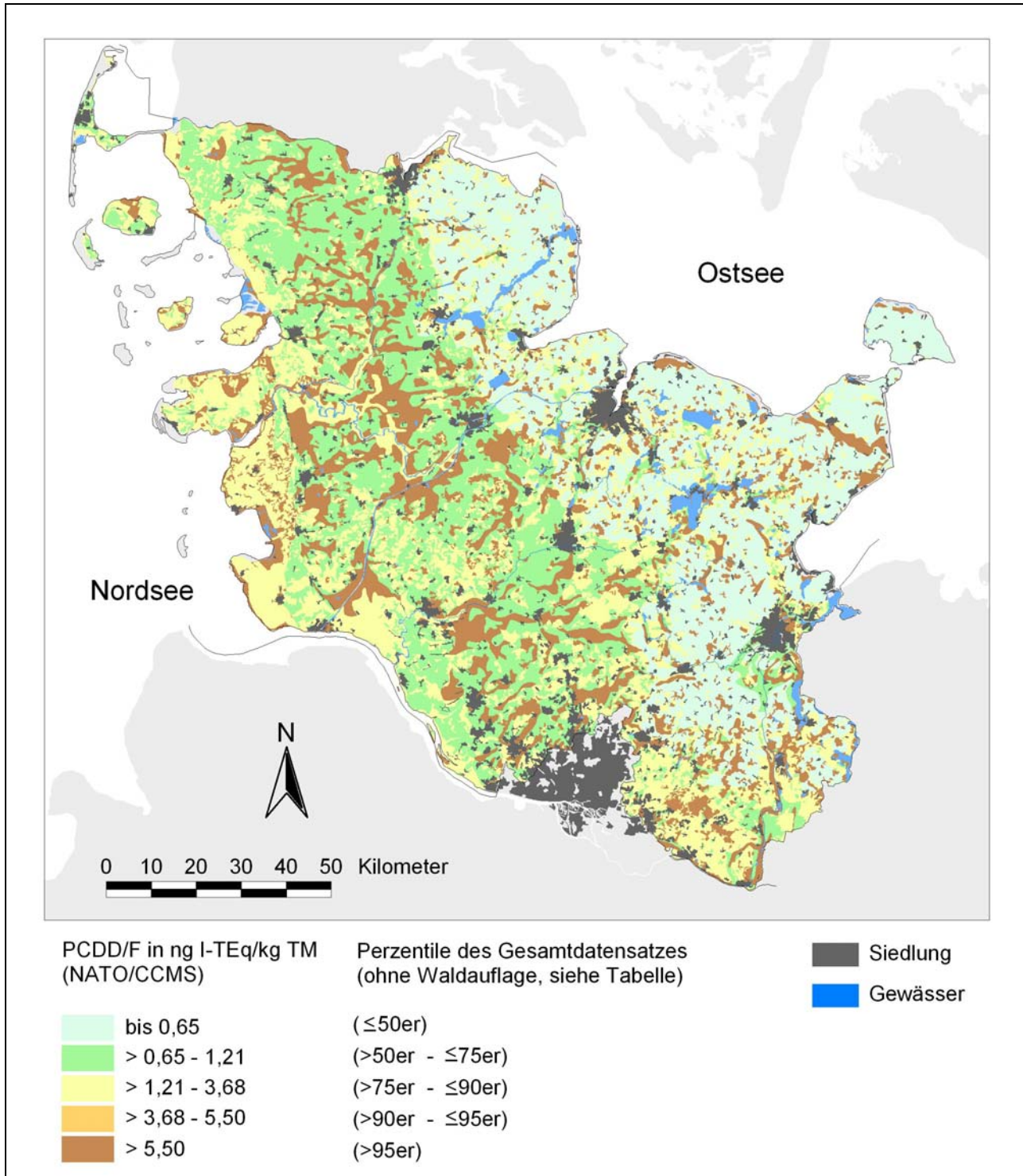


Abb. 4.4.2: Verbreitung der 90er-Perzentile für Dioxine und Furane gemäß den 13 Auswertungsklassen (AK)

PCDD/PCDF wurde an 272 Standorten (an 23 davon auch in Waldauflagen) bestimmt. Der Minimalwert ist 0, in 5 Fällen lagen alle 17 Kongenere unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze. Der Minimalwert ist die auf 0 gesetzte Bestimmungsgrenze (BG) (s. Kap. 1.6) – dies wird auch als ‚lower bound‘ - Ansatz bezeichnet. Insbesondere bei PCDD/F werden auch andere Vergleichssummen gebildet, wobei die BG oder Nachweisgrenze ganz (‚upper bound‘) oder teilweise in die Summe eingerechnet wird – beim Literaturvergleich

statistischer Größen ist dies zu berücksichtigen. Bei PCDD/PCDF Bodengehalten < 2 ng I-TEq/kg TM (lower bound) ist bei dem vorliegenden Datensatz davon auszugehen, dass die statistischen Kenngrößen bei einem ‚upper bound‘ - Ansatz deutlich abweichen.

Der Maximalwert mit 34,8 ng I-TEq/kg TM befindet sich an einem Waldstandort im Auflagehorizont, wegen geringer Trockenraumdichte des beprobten Materials ist dieser Wert mit anderen aus mineralischem Bodenmaterial aber wenig vergleichbar.

Der Median liegt bei 0,67 ng I-TEq/kg TM, der arithmetische Mittelwert bei 2,15 ng I-TEq/kg TM, der 90er-Perzentilwert bei 5,60 ng I-TEq/kg TM und der 95er-Perzentilwert bei 9,36 ng I-TEq/kg TM.

Bei der Statistik der Auswertungskollektive und damit auch der Kartendarstellung ist zu beachten, dass 7 der 13 Kollektive, also mehr als die Hälfte ein $n < 20$ aufweist (75er- und 90er-Perzentile *kursiv*) – damit sind diese Kennwerte statistisch gering abgesichert und können nur orientierend verwendet werden.

Kollektive nach Nutzungen oder nach Bodenarten sind daher statistisch belastbarer.

Die nach Bodenarten differenzierten Kollektive weisen, bezogen auf den Median, 75er-, und 90er-Perzentil, nur geringe Unterschiede auf. Der höchste Median mit 3,73 ng I-TEq/kg TM tritt bei Torfen auf. Die Präferenz zur Anlagerung an organische Substanz wird auch bei den hohen statistischen Kennwerten für Mineralboden unter Wald und Waldaufgaben deutlich.

Vergleicht man die 75er-, und 90er-Perzentilwerte der Kollektive der 3 Hauptbodenarten und die der beiden Nutzungen Acker und Grünland, weist das Grünlandkollektiv insgesamt mit 4,15 ng I-TEq/kg TM den höchsten Wert auf. Dies ist wiederum mit der Affinität der PCDD/PCDF zu organischer Substanz erklärbar.

Wie in Abbildung 4.4.2 zu erkennen, dominieren in weiten Teilen des Landes die Farben grün und gelb und weisen auf ein insgesamt eher niedriges Niveau der 90er-Perzentilwerte im Vergleich mit dem Gesamtdatensatz hin. Böden unter Laubwäldern sowie die An- und Niedermoore (AK 9) weisen neben grünlandgenutzten Kalk- und Kleimarschen die höchsten Dioxin- und Furangehalte auf. Die letztgenannte Auswertungskategorie 11 (junge Marschen) weist eine nur geringe Verbreitung auf (siehe Anlage 3), da die meisten Böden der jungen Marschen ackerbaulich genutzt werden. Bei Betrachtung der statistisch robusteren Mediane sind die höheren PCDD/PCDF-Gehalte der jungen Marschen unter Grünland z. B. gegenüber den alten Marschen unter Grünland (AK 10) nicht mehr so deutlich ausgeprägt. Eine Ursache der höheren Gehalte an PCDD/PCDF in der jungen Marsch gegenüber der alten Marsch ist nicht erkennbar.

Sandige Böden sowie Böden ackerbaulich genutzter Bereiche der älteren Marsch und die Böden des Östlichen Hügellandes zeichnen sich durch geringe Dioxin- und Furangehalte aus.

Es ist zu beachten, dass die ehemaligen und heutigen Überflutungsgebiete der Elbe als bekanntermaßen mit PCDD/PCDF höher belastetes Gebiet hier nicht dargestellt sind. Dargestellt sind auf allen der Elbe angrenzenden Flächen die Hintergrundgehalte für die alte und junge Marsch.

ARGUMENT 2009 führt für das ‚Projekt Elbe‘ folgende Statistik auf:

Tab. 4.4.2: PCDD/PCDF-Gehalte im Einflussbereich der Elbe

	n	Arithm. Mittelw.	25er-Perzentil	Median	75er-Perzentil	Maximum
Elbe außendeichs						
PCDD/PCDF (ng I-TEq/kg TM)	35	50,8	6,3	23,2	68,5	439
Flächen Elbnah mit ehemaligen Überflutungsbereichen						
PCDD/PCDF (ng I-TEq/kg TM)	23	27,4	1,5	4,7	56,2	145

Bewertung der Messergebnisse für Dioxine und Furane

Für Dioxine und Furane existieren in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) keine Vorsorge- oder Prüfwerte. Für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) sind für Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücken Maßnahmenwerte angegeben (s. Anlage 6).

1992 hat die Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine (BLAG DIOXINE) Richtwerte und Handlungsempfehlungen für Dioxingehalte u. a. in Böden veröffentlicht (siehe Anlage 6). Diese Richtwerte haben keinen gesetzlich

verbindlichen Charakter. Bei landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzungen ergeben sich aus den Richtwerten Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen, wobei nach heutigem Wissen die gezogenen Konzentrationsgrenzen keine scharfen Bewertungsgrenzen darstellen. Diese Werte sollten vor dem Hintergrund des heutigen Diskussionsstandes nur als Bewertungshinweise herangezogen werden, da die Belastung des Bodens nicht das alleinige Ausschlag gebende Kriterium für eine mögliche Belastung von Futter- und Lebensmitteln ist. Eventuelle Schadstoffübergänge in die Produkte und in die Nahrungskette können über Verschmutzungen des Erntegutes bzw. durch die direkte Aufnahme bei der Beweidung oder über weitere Transferpfade aus nicht bodenbezogenen Quellen und damit über vielfältige Nutzungseinflüsse hervorgerufen werden. Der systemische Transfer über die Pflanzenwurzel spielt bei Dioxinen/Furanen dagegen nur eine untergeordnete Rolle.

Betrachtet man die Belastung mit Dioxinen und Furanen - aufgeschlüsselt nach unterschiedlichen Bodennutzungen - wird deutlich, dass Ackerböden mit Werten von 0,48 (Median) bis 1,0 ng I-TEq/kg TM (90er-Perzentil) die niedrigsten Hintergrundgehalte aufweisen. Grünlandböden zeigen PCDD/PCDF-Gehalte von 0,76 (Median) bis 4,15 ng I-TEq/kg TM (90er-Perzentil) höhere Gehalte. Der Unterschied zu den Ackerböden ist im Wesentlichen auf die fehlende Durchmischung und Vertiefung (Verdünnung) des Oberbodens durch den Pflug zurückzuführen.

Alle Standorte unter Acker und die meisten Standorte unter Grünland unterschreiten den als ‚Zielgröße‘ formulierten Richtwert der Bund-/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine von 5 ng I-TEq/kg TM.

An 11 Standorten wird der Richtwert bei Böden unter Grünland überschritten (max. 12 ng I-TEq/kg TM), davon sind 8 Niedermoortorfe mit geringer Trockenraumdichte (siehe Kap. 1.9).

Weitere Beurteilungswerte der BBodSchV (Pfad Boden-Mensch) sind in Anlage 6 enthalten.

Aufgrund des natürlichen Auskämmeffektes von Wäldern weisen Böden unter Wald höhere Hintergrundgehalte auf. Im mineralischen Oberboden liegen die Gehalte an PCDD/PCDF bei 1,84 (Median) und 7,83 ng I-TEq/kg TM (90er-Perzentil). An sieben Waldstandorten wurde im Boden der hier nur als Vergleichgröße verwendete Wert von 5 ng I-TEq/kg TM überschritten.

In den Waldauflagen liegt der Median bei 9,65 und das 90er-Perzentil bei 22,2 ng I-TEq/kg TM. Hinzu kommt die geringere Trockenraumdichte von Waldauflagen im Vergleich zu mineralischen Bodenhorizonten, die bei einer Bewertung berücksichtigt werden muss (siehe Kap. 1.8).

Die Böden in Schleswig-Holstein sind im Vergleich zu Böden in stärker industriell geprägten Bundesländern insgesamt gering mit Dioxinen und Furanen belastet. Informationen zur bundesweiten Belastung von Böden mit PCDD/PCDF finden sich bei LABO 2003 (s.a. UBA 2010) und u. a. in verschiedenen Berichten der Dioxin-Arbeitsgruppe des Bundes und der Länder (insbesondere UBA 2007b, 5. Bericht Dioxine).

Tab. 4.4.3: PCDD/PCDF-Gehalte im Boden, Vergleich mit bundesweiten Daten (UBA 2007b)

Kollektive (Auswahl nach verschiedenen Abb.)	Anzahl (n)	50er-Perz. / Median	90er-Perz.
Gesamtdaten bundesweit / alle Gebietstypen	1440	2,1	14
Acker bundesweit / alle Gebietstypen	243	1,2	11
Grünland bundesweit / alle Gebietstypen	629	2,8	13
Wald bundesweit / alle Gebietstypen	182	2,4	14
Urbaner Raum bundesweit / ‚ohne besond. Belastungss.‘	587	4,4	22
Ländlicher Raum bundesweit / ‚ohne besond. Belastungss.‘	264	0,8	6,3
Gesamtdaten NRW ‚ohne besondere Belastungssituation‘	295	6,5	25

Es ist zu berücksichtigen, dass UBA 2007b die Daten mit dem Zusatz ‚ohne besondere Belastungssituation‘ versieht, die Daten jedoch offensichtlich Datensätze mit deutlichen punktuellen Belastungen (> 100 ng I-TEq/kg TM) beinhalten. Dies gilt auch für den Datensatz aus Schleswig-Holstein (UBA 2007b, Abbildung 3-48), der mit den vorliegenden Daten des Polygonkonzeptes von gering beeinflussten Böden daher nicht vergleichbar ist.

5 Zusammenfassung und Gesamtbeurteilung

Die Ergebnisse zur Charakterisierung ländlicher Hintergrundwerte werden nachfolgend zusammengestellt. Gemäß LABO 2003, Kap. 3.2.1.4 handelt es sich bei den hier präsentierten Daten um solche des „siedlungsstrukturellen Gebietstypes“ **Typ III, d. h. „ländlich geprägter Regionen“** (bei der vorgeschlagenen Differenzierung gemäß Kap. 6.3. des LABO-Berichtes um „vorwiegend ländlich geprägte Räume, **Typ A**).

Entsprechend dem Vorgehen der LABO werden die 50- und 90er-Perzentile der Metalle (Tab. 5.1), unterschieden nach Nutzung und Bodenartenhauptgruppe / Torf, aufgeführt.

Tab. 5.1: Hintergrundwerte für Metalle (KW) – Zusammenfassung; mg/kg TM

Bodenartenhauptgruppe: **Sand** (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)

mg/kg TM		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Acker Oberböden (meist 0 - 30cm)									
	n	188	188	189	189	141	189	188	188
Typ III	50. P.	1,85	0,12	7,07	6,36	0,04	2,25	11,2	24,2
	90. P.	3,77	0,20	17,4	12,8	0,06	8,09	17,7	45,8
Grünland Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	121	119	121	121	136	120	121	121
Typ III	50. P.	1,22	0,10	4,90	7,01	0,04	< 0,50	12,1	25,8
	90. P.	3,24	0,22	13,6	13,8	0,06	4,13	17,3	42,2
Wald Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	58	58	58	58	61	58	58	58
Typ III	50. P.	2,52	< 0,05	4,31	1,88	0,07	< 0,50	25,5	17,7
	90. P.	8,91	0,09	12,5	10,7	0,15	3,25	56,6	32,4

Bodenartenhauptgruppe: **Lehm / Schluff** (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)

mg/kg TM		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Acker Oberböden (meist 0 - 30cm)									
	n	144	144	144	144	134	141	143	143
Typ III	50. P.	4,52	0,11	24,7	8,80	0,05	12,0	15,1	46,8
	90. P.	10,3	0,21	44,2	16,5	0,07	21,3	22,2	62,8
Grünland Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	100	106	106	106	132	103	102	102
Typ III	50. P.	7,01	0,15	28,2	9,17	0,05	12,4	20,4	60,2
	90. P.	11,8	0,36	45,9	19,4	0,11	18,6	35,3	90,5
Wald Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	13	13	13	13	16	13	13	13
Typ III	50. P.	4,76	< 0,05	16,4	3,09	0,12	7,40	38,1	38,3
	90. P.	6,29	0,10	24,3	6,59	0,17	8,96	44,4	44,7

Bodenartenhauptgruppe: **Ton** (in der Regel bis 15 Masse-% organische Substanz)

mg/kg TM		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Acker Oberböden (meist 0 - 30cm)									
	n	27	29	29	29	31	28	28	26
Typ III	50. P.	12,1	< 0,05	38,5	10,5	0,05	19,7	21,5	75,5
	90. P.	18,4	0,40	67,3	16,2	0,08	27,8	28,9	93,1
Grünland Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	32	34	34	34	42	32	32	30
Typ III	50. P.	13,0	0,11	43,7	11,5	0,07	19,5	29,7	88,1
	90. P.	16,3	0,50	64,7	24,0	0,10	25,4	35,9	116

Anmooriger Oberboden und Niedermoortorf (>15 Masse-% organische Substanz)

mg/kg TM		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Grünland Oberböden (meist 0 - 5cm)									
	n	66	68	71	69	84	69	71	71
Typ III	50. P.	6,23	0,61	21,9	14,0	0,17	3,89	47,1	57,2
	90. P.	15,5	1,29	45,2	33,0	0,31	13,5	63,8	90,7

Auflage unter Wald

mg/kg TM		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Wald Auflagehorizont (> 0cm)									
	n	56	56	56	56	140	56	55	55
Typ III	50. P.	1,36	0,26	3,35	10,6	0,27	3,90	31,6	45,5
	90. P.	3,21	0,49	9,94	22,7	0,37	7,93	81,5	73,1

Die statistischen Auswertungen zeigen bei der Differenzierung **nach Nutzungen** vergleichbare Abstufungen der Hintergrundwerte, jedoch auch metallspezifische Besonderheiten. Bei summarischer Betrachtung weisen Waldböden bei gleicher Bodenart die niedrigsten Durchschnittswerte (Mediane) auf - zum besseren Erkennen sind die jeweils niedrigsten Werte eines Blockes **grün markiert**. Dies weist auf höhere Einträge dieser Stoffe aus Bewirtschaftungsmaßnahmen bei Acker und Grünland gegenüber Wald hin bzw. die mit den Maßnahmen einhergehende pH-Anhebung. Die bei Wald im Mittel deutlich niedrigeren pH-Werte (Abb. 2.4.1) führen bei den meisten Stoffen zu einer Mobilisierung und Abreicherung im oberen Waldbodenhorizont. Ausnahmen bilden Blei und Arsen, bei denen Einträge über den Luftpfad im Vordergrund stehen. Ackerbaulich genutzte Böden weisen im Vergleich zu Grünland, wie zu erwarten, niedrigere Hintergrundwerte auf. Als Ursache sind die stärkere Durchmischung durch das Pflügen (s. Kap. 1.4) und der geringere Humusgehalt zu sehen. Deutliche Ausnahme ist hier Nickel mit den in Kap. 3.6 ausgeführten Gründen; bei sandigen Böden ist dieser Effekt zudem bei Arsen, Cadmium und Chrom nicht erkennbar. Bei der Nutzung Grünland kann auch der Einsatz von Wirtschaftsdüngern zur Erhöhung von Metallgehalten beitragen (z. B. Ausreißerbetrachtung nach Abb. 3.3.1 bei Cadmium).

Beim Auflagehorizont des Waldes sind bei Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink im Verhältnis zum Waldboden Anreicherungen festzustellen.

Bezogen auf die **Bodenarten / Torfe** sind die einzelnen Metalle ebenfalls unterschiedlich zu charakterisieren. Die Böden aus Sand weisen bei allen Metallen die niedrigsten durchschnittlichen Werte (hier Mediane) auf, was mit fehlenden Bindungsmöglichkeiten, dem tendenziell niedrigeren pH-Wert und höheren Wasserdurchlässigkeiten zu erklären ist. Mit Ausnahme von Cadmium und Quecksilber steigen mit den Ton- und Schluffanteilen auch die Stoffgehalte der Metalle. Die Böden aus tonigem Material weisen besonders bei Arsen, Chrom, Nickel und Zink deutlich höhere Mediane (50er-Perzentile) auf. Dabei handelt es sich überwiegend um Marschböden. Die Torfe weisen bei Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Blei die höchsten Stoffgehalte auf.

Die Anzahl der **Vorsorge- und Vorsorgehilfswerte**überschreitungen bei den beprobten Standorten ist in Tab. 5.2 wiedergegeben. Für Nickel und Zink ergeben sich bei Böden mit einem pH < 6 durch die damit verbundenen Abstufungen der Vorsorgewerte gemäß BBodSchV 26 und 35 Überschreitungen. Wie bei den jeweiligen Stoffen diskutiert sind keine gebietsbezogenen Schwerpunkte erkennbar (s. Abbildung 5.1). Bei der landwirtschaftlichen Nutzung solcher Flächen sollte unter Berücksichtigung des anzustrebenden Ziel-pH-Wertes ggf. eine Anhebung des pH-Wertes empfohlen werden.

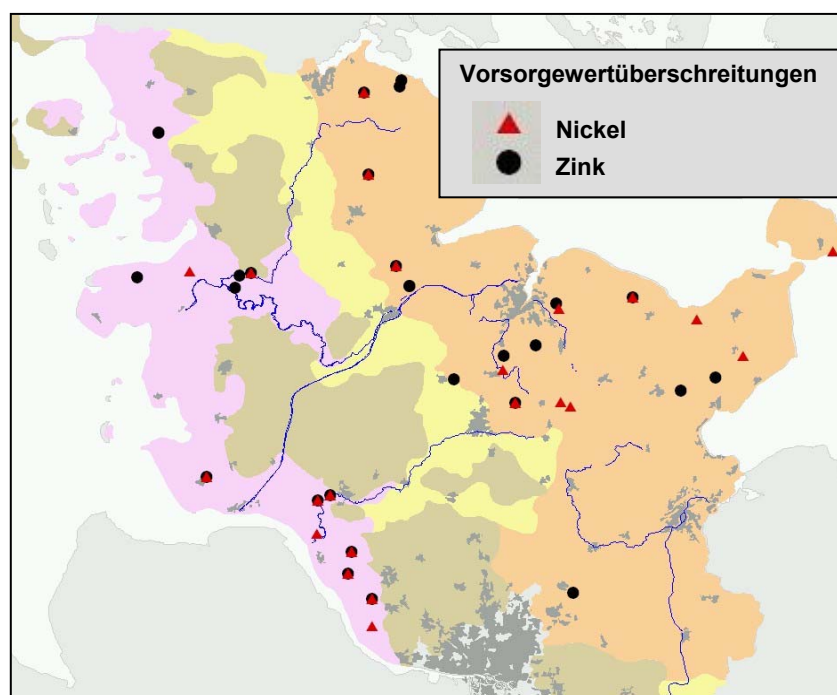


Abb. 5.1: Verteilung von Standorten über Lehm / Schluff mit Überschreitungen der Vorsorgewerte für Nickel und Zink

Tab. 5.2: Überschreitungen (grau) der Vorsorgewerte bei Metallen bei Böden mit $\leq 8\%$ Humusgehalt sowie der Vorsorge-Hilfswerte-SH bei Metallen bei Böden $> 8\%$ Humusgehalt - Zusammenfassung

Metall (KW)	Böden mit Humusgehalt $\leq 8\%$						$> 8\%$ Humusgehalt	
	Ton		Lehm / Schluff		Sand		Bodenmaterial / Waldauflagen	
	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl	mg/kg TM	Anzahl		
Arsen *	20	1	15	5	10	2	20	4 / -
Blei	100 (70)	-	70 (40)	-	40	2	100	2 / 4
Cadmium	1,5 (1,0)	-	1 (0,4)	-	0,4	3	1,5	2 / -
Chrom	100	-	60	5	30	4	100	-
Kupfer	60	-	40	-	20	1	60	- / 2
Nickel	70 (50)	-	50 (15)	22	15	4	70	-
Quecksilber	1	-	0,5	1	0,1	5	1	-
Zink	200 (150)	-	150 (60)	31	60	4	200	- / 2

* Schleswig-Holsteinische Hilfswerte für Arsen in Böden $\leq 8\%$ Humusgehalt

() - In Klammern Vorsorgewerte bei pH-bedingter Abstufung für Ton $< \text{pH } 6$ und Lehm / Schluff $< \text{pH } 6$ (bei Blei: $< \text{pH } 5$)

Der hier verwendete schleswig-holsteinische Hilfswert für Arsen ist zur Beurteilung von Bodenanalysen geeignet (Einschränkung siehe Kap 3.1). Bei 565 Bodenproben mit einem Humusgehalt $> 8\%$ (und Torf) einschließlich Auflagen unter Wald sind auch die Vorsorge-Hilfswerte für diese Böden mit max. 6 Überschreitungen bei einem Parameter (ca. 1 %) bezüglich der Wertesetzung tolerabel und belegen die Eignung dieser Werte für Schleswig-Holstein.

Im Königswasseraufschluss wurde **bei keinem Parameter an keinem Standort eine Überschreitung von Prüf- und/oder Maßnahmenwerten festgestellt.**

Zur Charakterisierung ländlicher Hintergrundwerte werden nachfolgend die ermittelten Kenngrößen für ausgewählte organische Verbindungen zusammengestellt.

Tab. 5.3: Hintergrundwerte für Organika - Zusammenfassung

		PAK ₁₆	BaP	PCB ₆	PCDD / PCDF
		$\mu\text{g/kg TM}$	$\mu\text{g/kg TM}$	$\mu\text{g/kg TM}$	ng I-TEq/kg TM
Acker Oberböden (meist 0 - 30cm)					
n		187	187	187	117
Typ III	50 P.	125	10	1,02	0,48
	90 P.	420	30	3,60	1,00
Grünland Oberböden (meist 0 - 5cm)					
n		257	257	259	132
Typ III	50 P.	213	13	1,27	0,76
	90 P.	1170	80	6,39	4,15
Wald Oberböden (meist 0 - 5cm)					
n		91	91	92	23
Typ III	50 P.	70	< 1	2,54	1,84
	90 P.	637	31	10,1	7,83
Wald Auflagehorizont ($> 0\text{cm}$)					
n		93	93	92	23
Typ III	50 P.	207	50	20,9	9,65
	90 P.	1930	82	54,4	22,2

Die organischen Stoffgruppen zeigen nutzungsspezifische Unterschiede. Während die PAK₁₆ und Benzo(a)pyren den höchsten Median bei den Böden unter Grünlandnutzung aufweisen, reichern sich die PCB₆ und die PCDD/PCDF vor allem in der organischen Waldaufgabe an. Bei den Bodenarten / Torf sind bei allen drei Stoffgruppen die höchsten Stoffgehalte bei den untersuchten Böden aus Torf festzustellen.

Tab. 5.4: Überschreitungen (grau) der Vorsorgewerte bei organischen Verbindungen - Zusammenfassung

Stoff	$\leq 8\%$ Humusgehalt		$> 8\%$ Humusgehalt	
	$\mu\text{g/kg TM}$	Anzahl	$\mu\text{g/kg TM}$	Anzahl
PAK ₁₆	3.000	4	10.000	-
BaP	300	4	1.000	-
PCB ₆	50	-	100	1

Die Vorsorgewerte nach BBodSchV für **PAK₁₆** in Böden mit Humusgehalten über 8 % werden nicht überschritten. Für die Böden mit Humusgehalten von bis zu 8 %, für die ein Vorsorgewert von 3.000 µg/kg TM (3 mg/kg TM) gilt, wurden in Böden von 4 Standorten Überschreitungen festgestellt, von denen zwei als Grünland und zwei als Acker charakterisiert sind. Prüf- und Maßnahmenwerte sind für den Summenwert der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆) in der BBodSchV nicht festgelegt worden.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV für **Benzo(a)pyren** in Böden mit Humusgehalten von bis zu 8 % von 300 µg/kg TM (0,3 mg/kg TM) sind an vier Standorten überschritten (drei sind identisch mit Standorten mit PAK₁₆-Überschreitungen). Von diesen vier sind zwei als Grünlandstandorte und zwei als Ackerstandorte charakterisiert. Prüfwerte werden nicht überschritten.

Der Vorsorgewert nach BBodSchV für **PCB₆** von 100 µg/kg TM (0,1 mg/kg TM) wird an einem Waldstandort im Auflagehorizont mit 153 µg/kg TM überschritten. Dies ist der höchste Wert des Datenkollektivs, der Maßnahmenwert für Grünland von 200 µg/kg TM wird nicht erreicht. Das Gesamtniveau der PCB₆-Gehalte ist, bezogen auf die Vorsorgewerte, insgesamt sehr niedrig.

Die landwirtschaftlich genutzten Böden in Schleswig-Holstein sind im Vergleich zu Böden in industrieller geprägten Bundesländern insgesamt gering mit **Dioxinen und Furanen** belastet.

Räumliche Verteilungsmuster der organischen Verbindungen sind, bezogen auf die Bodeneinheiten und 90er-Perzentilwerte, nicht so deutlich ausgeprägt wie bei den Metallen. Die An- und Niedermoore weisen im Vergleich etwas höhere Werte auf. Dies trifft auf die Waldstandorte bei PCB₆ und PCDD/PCDF wie auch auf die Grünlandstandorte der Marsch bei den PCDD/PCDF zu, bei allerdings niedrigem Gesamtniveau.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Schadstoffgehalte in den Böden Schleswig-Holsteins landesweit im Vergleich zu den in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung genannten Werten und Anforderungen als eher gering einzustufen sind.

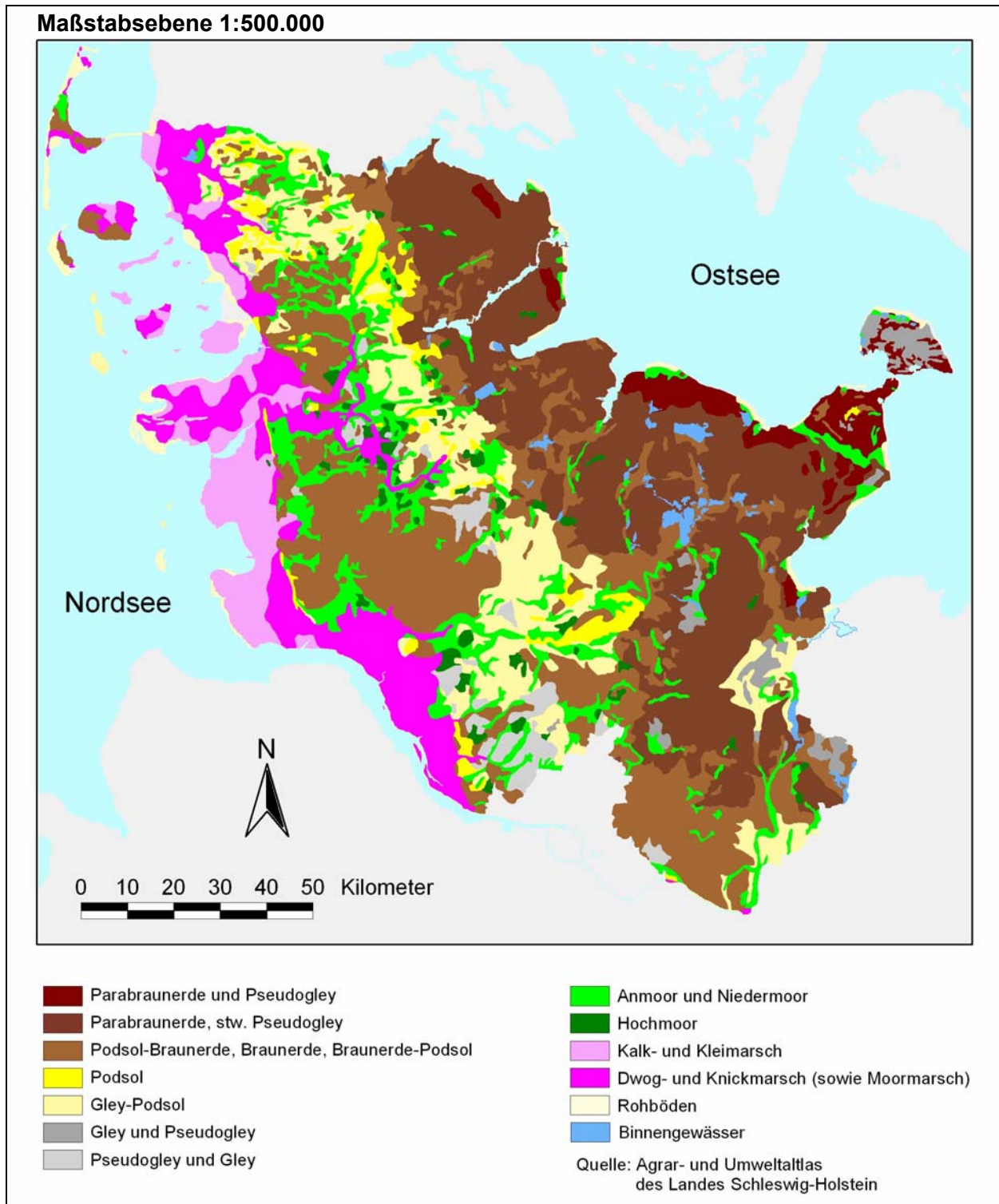
6 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung 3. Auflage (KA 3), Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) / (1994): 4. Auflage (KA 4), Hannover, BGR / (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage (KA 5), Hannover BGR
- AD-HOC-AG GEOCHEMIE (1996): UAG „Hintergrundwerte“ der Ad-hoc-AG Geochemie, Statusbericht 1996, Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Heft 6
- ARGUMENT GmbH (2009)*: Wissenschaftliche Auswertung von Bodendaten aus dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein (BBKSH); *nicht veröffentlicht, Einsichtnahme ist im LLUR möglich
- BACHMANN G., BANNICK C.-G. GIESE E., GLANTE F., KEINE A., KONIETZKA R., RÜCK F., SCHMIDT S., TERYTZE K., BORRIES D. v. (1997): Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundesbodenschutzgesetzes. In: ROSENKRANZ D., EINSELE G. & HARREß H.M. (Hrsg.): Bodenschutz. Erich Schmidt Verlag, Kz. 3500, 1-121
- BACHMANN G., OLTMANN J., KONIETZKA R., SCHNEIDER K. (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Loseblattsammlung, Grundwerk, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Kz. F 095
- BÄTCHER K. (1995): Cadmium - Auswirkungen gesetzlicher Bestimmungen auf den Einsatz in Produkten. Z. Umweltchem. Ökotox. 7 (2): 102-109
- BALLSCHMITER K., ZELL M. (1980): Analysis of Polychlorinated Biphenyls (PCB) by Glass Capillary Gas Chromatography, Fresenius Z. Anal. Chem. 302, 20-31
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (BLfU) (2006): Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (BLfU) (2007): Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren, Abschlussbericht zum FuE-Nr. 7000, 1.3.2003 - 30.11.2005 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
- BGR (2006) – Veröffentlichung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, siehe BIRKE et al. 2006, zitiert mit freundl. Genehmigung von Dr. M. Birke. Erläuterung in Kap. 2.1
- BIRKE M., RAUCH U., RASCHKA H., WEHNER H., KRINGEL R., GÄBLER H.E., KRIETE C., SIEWERS U., KANTOR W., (2006), Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland – Verteilung anorganischer und organischer Parameter in Oberflächenwässern und Bachsedimenten. Vorabexemplar, unpublished
- BML (1996): Deutscher Waldbodenschadensbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987 - 1993 (BZE), 2007 aktualisiert, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn
- BRÜMMER G.W. (1992): Schadstoffe. In: SCHEFFER F. & SCHACHTSCHABEL P. (Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, 13. Auflage; komprimiert in 16. Auflage (2010), Spektrum Akademischer Verlag
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ, LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden; 3. Auflage. In: ROSENKRANZ D., EINSELE G. & HARREß H.M. (Hrsg.): Bodenschutz. Erich Schmidt Verlag, Kz. 9006
- BUND/LÄNDER ARBEITSGRUPPE DIOXINE (BLAG – DIOXINE) (1992): Bericht der Bund/Länderarbeitsgruppe Dioxine: Rechtsnormen, Richtwerte, Handlungsempfehlungen, Meßprogramme und Forschungsprogramme, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- CLC (2000): Corine Land Cover, Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004, www.corine.dfd.dlr.de
- DAHLHAUS M.W., HORN R. (2002): Entwicklung eines Stoffstrommanagements für Sekundärrohstoff-, Wirtschafts- und Mineraldünger auf landwirtschaftlich genutzten Flächen des Landes Schleswig-Holstein, Universität Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, i.A. des LANU, unveröffentlicht
- DIN 32645: 05.94: Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze – Ermittlung unter Wiederholungsbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung
- EPA (1982): Test-Method: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-Method 610, 07, USA
- FAUTH H., HINDEL R., SIEWERS U. & ZINNER J. (1985), "Geochemischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten", Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- FEHRENBACH H., KNAPPE F., ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: (2002): Ökobilanzielle Betrachtung von Entsorgungsoptionen für Klärschlamm im Land Schleswig-Holstein, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein

- FRÄNZLE O., KUHN D., KUHN G., ZÖLITZ R. (1986): Auswahl der Hauptforschungsräume für das Ökosystemforschungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsbericht 101 04 043/02 im Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Kiel
- FRÄNZLE O., ZÖLITZ-MÖLLER, R., BÖDEKER D., BRUHM I., HEINRICH U., JENSEN-HUSS K., KLEIN A., KOTHE P., MICH N., REICHE E. W., REIMERS T., SAAGER W., u.a. (1991): Erarbeitung und Erprobung einer Konzeption für die ökologisch orientierte Planung auf der Basis der regionalisierenden Umweltbeobachtung am Beispiel Schleswig-Holsteins, UFOPLAN-10902033, <http://hdl.handle.net/10068/239158>
- GAUGLHOFER J. & BIANCHI H. (1991): Chromium. In: MERIAN E. (ed.): Metals and their compounds in the environment. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge: 853 – 878
- HERTLING TH., KUHN G., SCHMOTZ W. (1995): Verfahren zur regional repräsentativen Untersuchung von Bodenbelastungen, uvp-report 3/95, 117-123
- JENSEN-HUSS, K. (1990): Raumzeitliche Analyse atmosphärischer Stoffeinträge in Schleswig-Holstein und deren ökologische Bewertung, Dissertation Universität Kiel
- KUHN G. (1990): Regional repräsentative Bodenbeprobung für Umweltverträglichkeitsprüfungen, uvp-report 2/90, 6670
- LABO – siehe Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
- LAGA – siehe Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (2004), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden)
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LfU) (1995): Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB), Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung Band 16
- LATURNUS F., FAHIMI I., GRYNDLER M., HARTMANN A., HEAL M.R., MATUCHA M., SCHÖLER H.F., SCHROLL R., SVENSSON T. (2005): Volatile Organochlorines in Forest Soil, Environ Sci & Pollut Res 12(4) 233-244
- LÖBLICH H. J. (1985): Überregionales fortschreibbares Kataster der Emissionsursachen und Emissionen für SO₂ und NO_x (EMUKAT), Berichtssammelband, Bundesministerium des Innern, Bonn, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin
- MCGILL R., TUKEY J. W., LARSEN W. A. (1978): Variations of Box Plots, The American Statistician 32/1, 12-16
- MINISTER FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND FISCHEREI DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (MELF) (1988): Schwermetallkataster Schleswig-Holstein, Kiel, unveröffentlicht
- NATO/CCMS (1988): Pilot study on international information exchange on dioxins and related compounds. International toxicity equivalent factor (ITEF). Method of risk assessment for complex mixtures of dioxins and related compounds. Report Number 176
- REICHE E.-W. (1991): Konzeption für ein landesweites Bodenbelastungskataster, Verein Argument im Auftrag des Geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein, Kiel, unveröffentlicht
- REICHE E.-W. (1992): Regionalisierende Auswertung des Schwermetallkatasters Schleswig-Holstein auf der Grundlage eines Geographischen Informationssystems. In: KUHN G. & ZÖLITZ-MÖLLER R. (Hrsg.): Beiträge zur Geoökologie. Kieler Geographische Schriften, Bd. 85, S. 42-58
- ROSENKRANZ D., EINSELE G. & HARREß H.M., : Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser
- SAVA (1993)- Planfeststellungsbescheid zur **SonderAbfallVerbrennungsAnlage** Brunsbüttel 1993 – Gewerbeaufsichtsamt Itzehoe
- SCHMOTZ W. (1996): Entwicklung und Optimierung von Verfahren zur flächenhaften Erfassung der Schadstoffgehalte in Böden, Dissertation Universität Kiel.
- SCHNEIDER K., KALBERLAH F. (2005): Nickel und Verbindungen, in: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung, D 714; Loseblattsammlung Grundwerk 1999, EIKMANN T., HEINRICH U., HEINZOW B., KONIETZKA R. (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag
- SCHEINBERG H. (1991): Copper. In: MERIAN E. (ed.): Metals and their compounds in the environment. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge: 893 - 908
- SUNDERMAN F.W. & OSKARSSON A. (1991): Nickel. In: MERIAN E. (ed.): Metals and their compounds in the environment. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge: 1101-1126
- STREMMER H. (1981): Bodenkarte Schleswig-Holsteins 1:500.000, Geologisches Landesamt SH
- THORNTON I. (1990): A survey of lead in the British urban environment - an example of research in urban geochemistry. In: LIETH H. & MARKERT B. (ed.): Element Concentrations Cadasters in Ecosystems. VCH Verlag, Weinheim, 221 - 233
- Umweltbehörde Hamburg (2000): Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Oberböden Hamburgs, GRAS B., JAEGER C., SIEVERS S., UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 12/2, 75-82
- UBA – siehe Umweltbundesamt

- UMWELTBUNDESAMT (UBA 2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung, KÖRDEL W., HERRCHEN M., MÜLLER J., UBA-Texte 30/07
- UMWELTBUNDESAMT (UBA 2007b): DIOXINE- Daten aus Deutschland; 5. Bericht DIOXINE des Bundes u. der Länder; 2007, siehe auch: www.umweltbundesamt.de/chemikalien/dioxine-dbla.htm
- UMWELTBUNDESAMT (UBA 2008): Vergleichende Auswertung von Stoffeinträgen in Böden über verschiedene Eintragspfade, KNAPPE F., MÖHLER S., OSTERMAYER A., IFEU-Institut, Heidelberg, LAZAR S., KAUFMANN C., ahu AG Aachen, UBA-Texte 38/08
- UMWELTBUNDESAMT (UBA 2010): Dioxine und dl-PCB in der Umwelt, Auswertung der Länderberichte anlässlich des Fachgespräches im Bundesumweltministerium am 07.04.2009 und Stellungnahme des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 12/2010 (www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3912.pdf)
- VON BURG R. & GREENWOOD M.R. (1991): Mercury. In: Merian E. (ed): Metals and their compounds in the environment. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge: 1045 – 1088
- WIEGMANN S. (1999): Natürliche Schwermetallgehalte als planungs- und umweltrechtsrelevante Bewertungsgrundlage der Belastung nordeutscher Ackerböden, Dissertation an der CAU, Kiel
- WILKE B.-M. (2010): Gefährdung der Bodenfunktionen, in: SCHEFFER F. & SCHACHTSCHABEL P. (Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag (16. Aufl.)
- WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG METALLE e.V. (2008) – Informationen zur metallverarbeitenden Industrie

Anlage 1: Bodenübersichtskarte BÜK 500 (STREMME 1981)

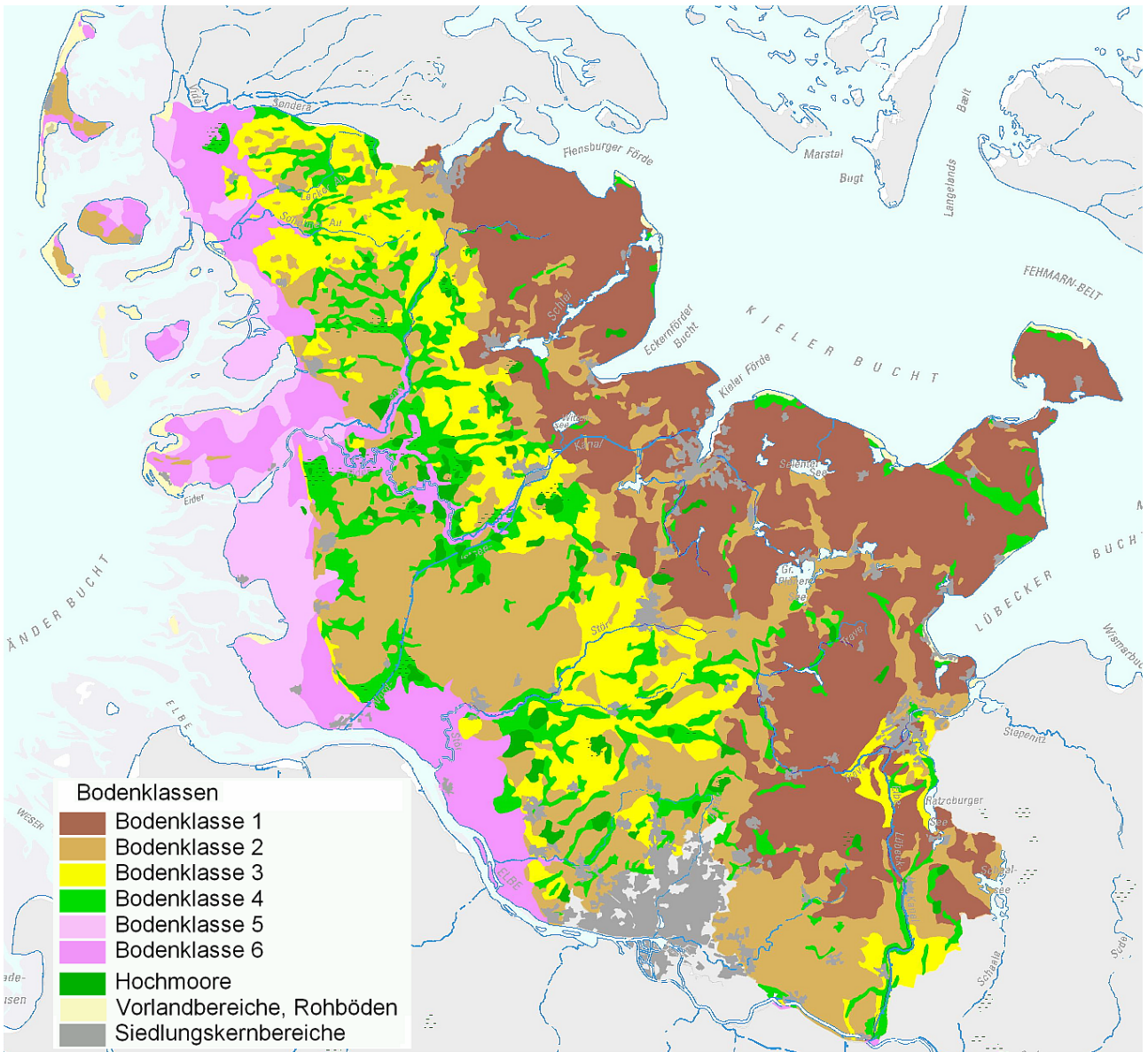


Zuordnung der Bodentypen zu den Bodenklassen (BK) gemäß Tabelle 1.3.1 und 1.3.2

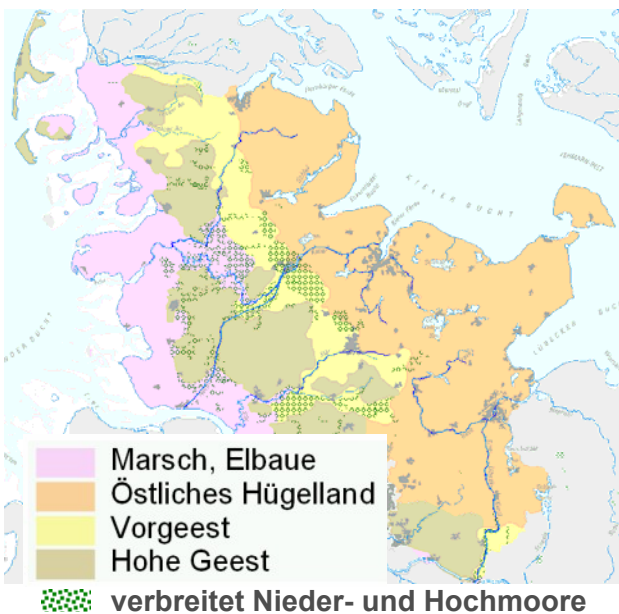
- | | |
|---|--|
| Parabraunerden und Pseudogley | ⇒ BK 1, Parabraunerden, Pseudogleye, Gleye |
| Parabraunerden, stw. Pseudogley | ⇒ BK 1, Parabraunerden, Pseudogleye, Gleye |
| Podsol-Braunerden, Braunerde, Braunerde-Podsole | ⇒ BK 2, Braunerden, Braunerde-Podsole |
| Podsol, Gley-Podsol ... bis ... Pseudogley und Gley | ⇒ BK 3, Podsole, Gleye und Pseudogleye |
| Anmoor und Niedermoor | ⇒ BK 4, Anmoor und Niedermoor |
| Hochmoor | - (BK 4, Anmoor und Niedermoor *) |
| Kalk- und Kleimarsch | ⇒ BK 6, Kalk- und Kleimarschen |
| Dwog- und Knickmarsch (sowie Moormarsch) | ⇒ BK 5, Dwog-, Knick- und Moormarschen |

* Die Zuordnung der Hochmoorflächen zu den An- und Niedermoor erfolgte nur für die Kartenerstellung (s. Kap. 1.8). Hochmoore wurden in keiner Gruppe des Polygonkonzeptes geführt und nicht beprobt.

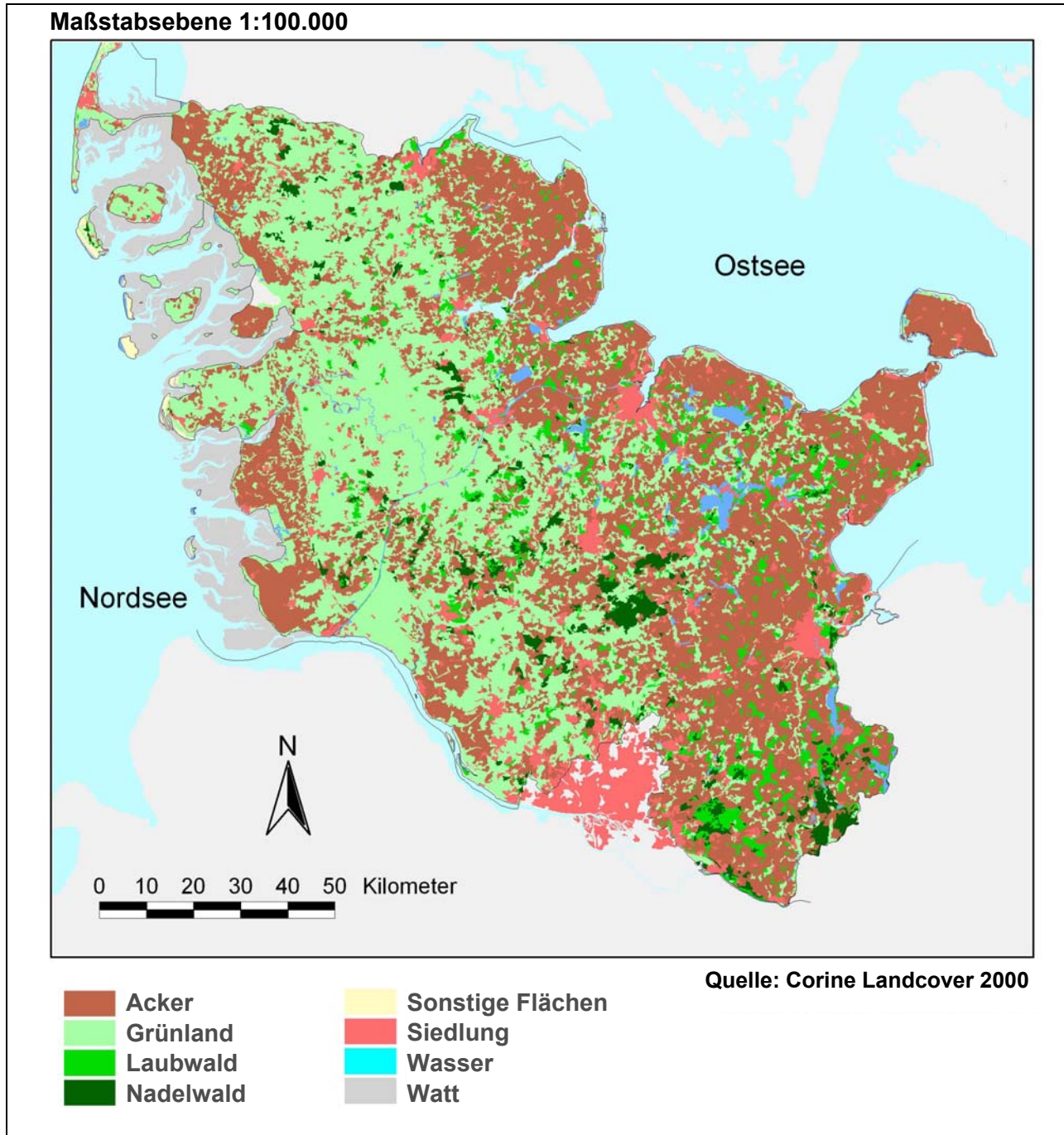
Anlage 1b: Karte der Bodenklassen (1:500.000)



Die Bodenklassen im Vergleich mit der Überblickskarte der naturräumlichen Gliederung:



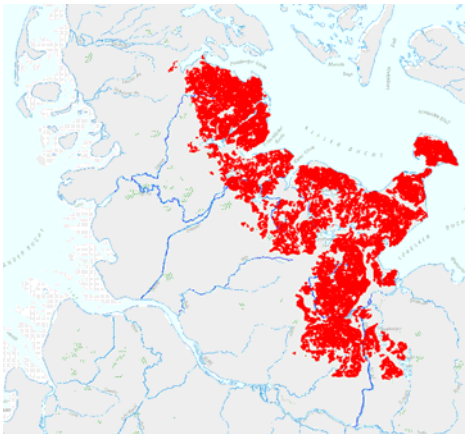
Anlage 2: Bodenbedeckungs- und Landnutzungskarte CORINE 2000 (verändert)



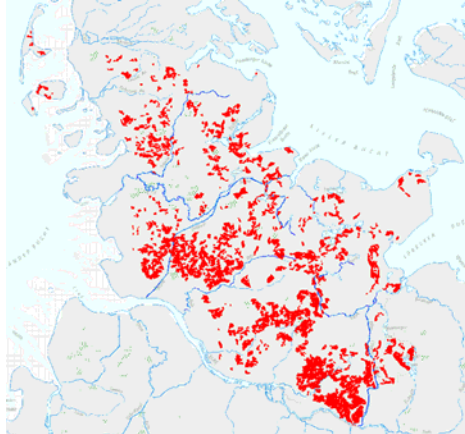
Zuordnung von originalen Corine Landcover-Nutzungsbeschreibungen (linke Spalte) zu der hier verwendeten Nutzungseinteilung zur Kartendarstellung: (Begründung siehe Kap. 1.8)

Nicht bewässertes Ackerland	Acker
Obst- und Beerenobstbestände	Grünland
Wiesen und Weiden	Grünland
Komplexe Parzellenstrukturen	Grünland
Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung	Grünland
Laubwald	Laubwald
Nadelwald	Nadelwald
Mischwald	Laubwald
Natürliches Grasland	Grünland
Heiden und Moorheiden	Grünland
Wald-Strauch-Übergangsstadien	Laubwald
Strände, Dünen und Sandflächen	Sonst. Flächen
Felsflächen ohne Vegetation	Sonst. Flächen
Flächen mit spärlicher Vegetation	Sonst. Flächen
Sümpfe	Grünland
Torfmoore	Grünland
Salzwiesen	Sonst. Flächen
In der Gezeitenzone liegende Flächen	Sonst. Flächen

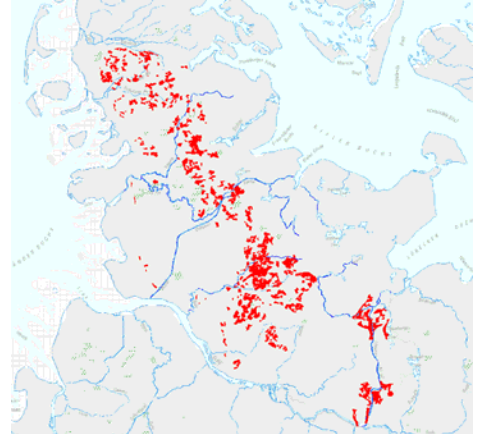
Anlage 3: Tendenzielle Verbreitung der Auswertungsklassen (AK) - siehe Tab. 1.3.2 und Kap. 1.8



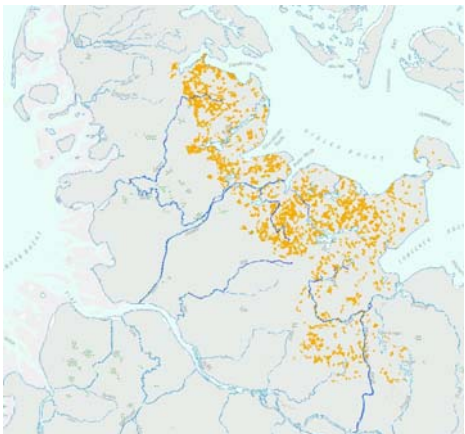
AK 1: Acker auf BK 1 *



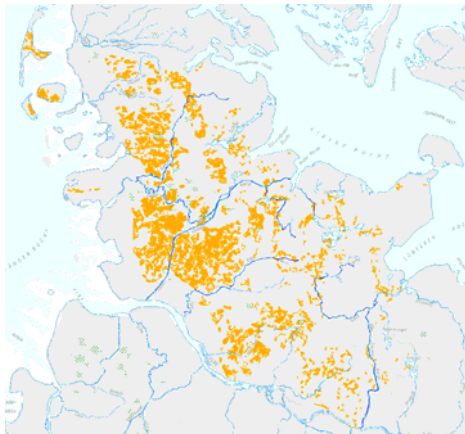
AK 2: Acker auf BK 2 *



AK 3: Acker auf BK 3 *



AK 6: Grünland auf BK 1 *



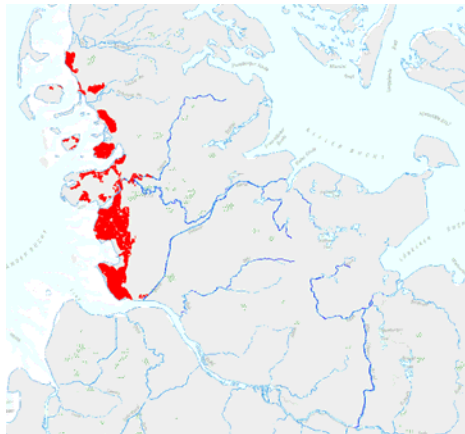
AK 7: Grünland auf BK 2 *



AK 8: Grünland auf BK 3 *



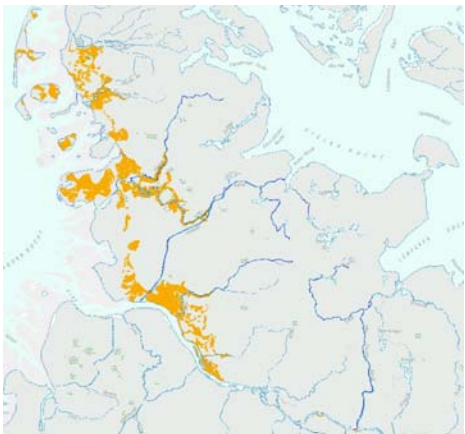
AK 4: Acker auf BK 5 *



AK 5: Acker auf BK 6 *



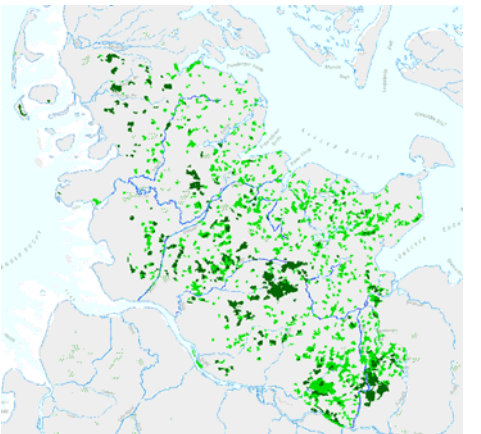
AK 9: Grünland auf BK 4* /Hochmoor



AK 10: Grünland auf BK 5 *



AK 11: Grünland auf BK 6 *



AK 12 / 13: Laubwald ◆ / Nadelwald ◆

Anlage 4: Auflistung der Summenparametera) PAK₁₆ nach EPA (1982)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nach EPA	Anzahl der Benzolringe
Naphthalin	2
Acenaphthylen	3
Acenaphthen	3
Fluoren	3
Phenanthren	3
Anthracen	3
Fluoranthen	4
Pyren	4
Benzo(a)anthracen	4
Chrysen	4
Benzo(b)fluoranthen	5
Benzo(k)fluoranthen	5
Benzo(a)pyren	5
Dibenzo(ah)anthracen	5
Benzo(ghi)perylen	6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6

b) PCB₆ nach BALLSCHMITER & ZELL (1980)

Polychlorierte Biphenyle, (PCB) nach Ballschmiter	
2,4,4'-Trichlorbiphenyl	PCB 28
2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl	PCB 52
2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl	PCB 101
2,2',3,4,5,5'-Hexachlorbiphenyl	PCB 138
2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl	PCB 153
2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl	PCB 180

c) Dioxine und Furane - 17 Einzelverbindungen (Kongenere) mit den internationalen Faktoren zur Berechnung der Toxizitätsäquivalente nach NATO/CCMS (I-TEq)

Polychlorierte Dibenzodioxide (PCDD)	I-TEq-Faktor n. NATO/CCMS
2,3,7,8-TetraCDD	1,0
1,2,3,7,8-PentaCDD	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	0,01
OctaCDD	0,001
Polychlorierte Dibenzofurane(PCDF)	I-TEq-Faktor n. NATO/CCMS
2,3,7,8-TetraCDF	0,1
1,2,3,7,8-PentaCDF	0,05
2,3,4,7,8-PentaCDF	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	0,01
OctaCDF	0,001

Für die Berechnung der Toxizitätssummen werden in diesem Bericht die Einzelverbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf 0 gesetzt (s. Kap. 1.6). Diese Auswertungsart wird auch als **'lower bound'-Ansatz** bezeichnet und ist von Auswertungen zu unterscheiden, die bei der Summenbildung Kongenere unterhalb der Bestimmungsgrenze in Höhe der Bestimmungsgrenze oder Nachweisgrenze ('upper bound'-Ansatz) oder teilweise (1/2 Nachweisgrenze) berücksichtigen.

Anlage 5: Definitionen nach dem LABO-Bericht Hintergrundwerte (2003) - Textauszüge

Definition des Begriffs 'Hintergrundgehalte' und 'Hintergrundwerte' (LABO 2003, S. 5ff):

Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich zusammen aus dem **geogenen Grundgehalt** eines Bodens und der **ubiquitären Stoffverteilung** als Folge diffuser Einträge in den Boden.

Die Formulierung 'ubiquitär / diffus' grenzt den Hintergrundgehalt von solchen Istgehalten ab, die durch punktuell hohe Stoffeinträge (punktueller Emittenteneinfluss, Altlasten) gegenüber Hintergrundgehalten deutlich erhöht sind. Sie unterstellt damit, dass der bezeichnete Hintergrundgehalt typisch bzw. repräsentativ für bestimmte Böden, Gebiete oder auch Nutzungen ist und nicht durch punktuell hohe (geogene, chalkogene und/oder anthropogene, z. B. bewirtschaftungsbedingte) Werte herbeigemittelt wird.

Für die meisten organischen Schadstoffe können lithogene oder chalkogene Komponenten ausgeschlossen werden, da diese Stoffe im Wesentlichen nicht als Ausgangsmaterialien der Bodenbildung vorkommen. Auch andere natürliche Ursachen (z.B. PAK-Entstehung bei Waldbränden) sind in der Regel vernachlässigbar. Der Hintergrundgehalt organischer Schadstoffe ist daher weitgehend identisch mit den ubiquitären Einträgen, die durch pedogenetische Prozesse und Nutzungseinflüsse im Boden umverteilt wurden.

'Hintergrundwerte' sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete **Hintergrundgehalte** eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.

Hintergrundwerte für Böden beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen sowie der Bezugsgrößen Ausgangsgestein der Bodenbildung, Bodenhorizont, Nutzung und Gebietsdifferenzierung die repräsentativen Stoffkonzentrationen in Böden.

Identifizierung und Eliminierung von untypisch belasteten Bodenproben (LABO 2003, S. 21ff)

Zur Identifizierung und Eliminierung von untypisch belasteten Bodenproben stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Allen Verfahren liegt definitionsgemäß eine Annahme zur Verteilung der Stichprobe zugrunde, da ein Ausreißer sich darüber definiert, dass der Messwert außerhalb der erwarteten Spannweite der Verteilung liegt. Ein einfaches und robustes Verfahren zur Identifizierung von Ausreißern und Extremwerten wird im Folgenden dargestellt (siehe auch ISO/CD 19258).

Ausreißer sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 1,5-fache des Interquartilabstandes (Interquartilabstand = 75. Perzentil-25. Perzentil) über- bzw. unterschreiten.

Extremwerte sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 3-fache des Interquartilabstandes über- bzw. unterschreiten.

Insbesondere der Faktor 1,5 zur Abgrenzung von Ausreißern basiert auf der Annahme einer Normalverteilung der zugrunde liegenden Messwerte.

Die visuelle und / oder statistische Identifizierung von Ausreißern oder Extremwerten einer Stichprobe sollte nicht automatisch eine Eliminierung dieser Werte aus der Stichprobe nach sich ziehen. Zunächst sollte den Ursachen nachgegangen werden. So sind Stichproben für Spurenstoffgehalte in Böden häufig nicht normal, sondern logarithmisch normal verteilt. ...

Berechnung von Hintergrundwerten (LABO 2003, S. 22)

Für die Auswahl der statistischen Methode zur Auswertung von Messdaten ist der Umfang des Datenmaterials (Anzahl = n) und das Vorliegen bzw. Nicht-Vorliegen eines normalverteilten Datenmaterials von grundlegender Bedeutung. Da die Hintergrundgehalte i. d. R. nicht normalverteilt sind, sollen grundsätzlich Perzentile errechnet werden.

Die LABO schlägt die Angabe des 50. Perzentilwertes (Median) und des 90. Perzentilwertes vor. Die Angabe von Perzentilen setzt eine Mindestprobenzahl von n=20 voraus.

Der Medianwert besitzt den Vorteil, dass er unempfindlich gegen Ausreißer ist und Werte "kleiner-als-Bestimmungsgrenze" sinnvoll ausgewertet werden können. Schwankungen der Stoffgehalte können durch die Angabe verschiedener Perzentilwerte (z. B. 10., 25., 50., 75., 90. Perzentil) dargestellt werden. Die aus einer Stichprobe ermittelten Perzentile können erheblich von den "wahren" Perzentilen abweichen. Die Abweichung hängt wesentlich vom Verteilungstyp und vom Stichprobenumfang ab. Daher ist der Stichprobenumfang anzugeben.

Das xx. Perzentil kann so interpretiert werden, dass eine beliebige Probe aus der Gesamtpopulation mit einer Wahrscheinlichkeit von xx % einen kleineren Wert aufweist. Nimmt man beispielsweise das 90er-Perzentil als Kriterium für die Entscheidung, ob ein Analysenwert als normal oder anomal für die Gesamtpopulation anzusehen ist, dann wird der Fehler, eine normale Probe als anomal anzusehen, kleiner als 10 % sein (Fehler erster Art). Der Fehler, eine anomale Probe fälschlicherweise als normal anzusehen (Fehler zweiter Art) kann dadurch nicht kontrolliert werden.

Anomale Werte im oben beschriebenen Sinne sind daher zwar keine Beweise im strengen Sinn, sie deuten aber in quantifizierbarer Weise auf anthropogene Kontamination sowie unter Umständen auch auf im Untergrund vorhandene natürliche Stoffanreicherungen hin.

Anlage 6: Zusammenstellung der Bewertungshinweise**Bewertungshinweise für Schadstoffe im Boden gemäß BBodSchV, Anhang 2****Vorsorgewerte für Metalle** (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss)

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm / Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						

Auszug aus den Hinweisen der BBodSchV zur Anwendung der Vorsorgewerte für Metalle:

- Bei Böden der Bodenart Ton mit einem pH-Wert von < 6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm / Schluff.
- Bei Böden der Bodenart Lehm / Schluff mit einem pH-Wert von < 6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Sand. § 4 Abs. 8 Satz 2 der Klärschlammverordnung vom 15.04.1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Verordnung vom 06.03.1997 (BGBl. I S. 446), bleibt unberührt.
- Bei Böden mit einem pH-Wert von < 5,0 sind die Vorsorgewerte für Blei entsprechend den ersten beiden Anstrichen herabzusetzen.
- Die Vorsorgewerte finden für Böden und Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von mehr als 8 Prozent keine Anwendung. Für diese Böden können die zuständigen Behörden ggf. gebietsbezogene Festsetzungen treffen.

Vorsorgewerte für organische Stoffe (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden)

Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆)	Benzo(a)pyren	Polycycl. Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK ₁₆)
Humusgehalt > 8 %	0,1	1	10
Humusgehalt ≤ 8 %	0,05	0,3	3

Prüf- und Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

(in mg/kg Trockenmasse, Feinboden)

	Ackerbau, Nutzgarten (im Hinblick auf die Pflanzenqualität)		
	Methode ¹⁾	Prüfwert	Maßnahmenwert
Arsen	KW	200 ²⁾	---
Cadmium	AN	---	0,04 / 0,1 ³⁾
Blei	AN	0,1	---
Quecksilber	KW	5	---
Thallium	AN	0,1	---
Benzo(a)pyren	---	1	---

1) Extraktionsverfahren für Arsen und Schwermetalle: **AN = Ammoniumnitrat, KW = Königswasser**

2) Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg/kg TM

3) Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cadmium-anreichernder Gemüsearten gilt als Maß-

nahmenwert 0,04 mg/kg Trockenmasse; ansonsten gilt als Maßnahmenwert 0,1 mg/kg TM

Maßnahmenwerte für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze auf Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss)

Arsen	50	Nickel	1900
Blei	1200	Quecksilber	2
Cadmium	20	Thallium	15
Kupfer	1300 ¹⁾	Polychlorierte Biphenyle (PCB₆)	0,2

¹⁾ Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert für Kupfer 200 mg/kg Trockenmasse

Prüfwerte für den Schadstoffübergang Boden-Pflanze auf Ackerbauflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen

(in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, im Ammoniumnitrat-Extrakt)

Arsen	0,4
Kupfer	1
Nickel	1,5
Zink	2

Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Schadstoffen (Wirkungspfad ‚Boden – Mensch‘)

(in mg/kg TM, Feinboden, Analytik nach Anhang 1)

	Kinderspiel- flächen	Wohn- gebiete	Park- u. Freizeitan- lagen	Industrie- und Ge- werbegrundstücke
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1.000	2.000
Cadmium	10 ²⁾	20 ²⁾	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1.000	1.000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	-
Benzo(a)pyren	2	4	10	12
DDT	40	80	200	-
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclo- hexan	5	10	25	400
Pentachlorphenol	50	100	250	250
PCB₆ ¹⁾	0,4	0,8	2	40

¹⁾ Soweit PCB-Gesamtgehalte bestimmt werden, sind die ermittelten Messwerte durch den Faktor 5 zu dividieren.

²⁾ In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereich für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

Maßnahmenwerte für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen (Pfad ‚Boden-Mensch‘) (in ng I-TEq/kg TM, Feinboden)

Dioxine/Furane (PCDD/F)	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- u. Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
	100	1.000	1.000	10.000

* Summe der 2, 3, 7, 8 - TCDD-Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CCMS), siehe Anlage 3

Bei Vorliegen dioxinhaltiger Laugenrückstände aus Kupferschiefer („Kieselrot“) erfolgt eine Anwendung der Maßnahmenwerte aufgrund der geringen Resorption im menschlichen Organismus nicht unmittelbar zum Schutz der menschlichen Gesundheit als vielmehr zum Zweck der nachhaltigen Gefahrenabwehr.

Ergänzende Bewertungshinweise für Dioxine / Furane im Boden

Im September 1992 hat die Bund-/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine (BLAG DIOXINE) Richtwerte und Handlungsempfehlungen für Dioxingehalte in Böden (sowie Milch und Milchprodukten) (veröffentlicht auch als 2. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE, Bonn 1993). Dabei werden die unterschiedlichen Toxizitäten der Einzelverbindungen mittels toxischer Äquivalente bezogen auf 2,3,7,8-TCDD berücksichtigt.

Diese Richtwerte haben keinen gesetzlich verbindlichen Charakter.

Dioxine und Furane werden von den meisten Pflanzen nicht über die Wurzel aufgenommen. Belastungen von Pflanzen und Futtermitteln sind vielmehr stark von der Verschmutzung des Erntegutes mit anhaftenden Bodenpartikeln abhängig. Die direkte Aufnahme von belasteten Bodenpartikeln bei der Beweidung stellt einen weiteren Eintragungspfad in die Nahrungskette dar. Neben der Konzentration der Stoffe im Boden sind damit die Bewirtschaftungsweise und Witterungseinflüsse entscheidend für einen eventuellen Schadstoffübergang. Stoffkonzentrationen im Boden müssen nicht mit Belastungen von Pflanzen, Futtermitteln oder Nutztieren korrelieren.

Die unten genannten Werte können daher nur als Hinweis auf die **Wahrscheinlichkeit** von weitergehenden Belastungen von Pflanzen, Futtermitteln oder Nutztieren durch diese Stoffe interpretiert werden.

PCDD/PCDF [ng I-TEq/kg TM] *	Richtwerte / Handlungsempfehlungen
< 5	Zielgröße; jegliche Nutzung ungeprüft möglich
5 - 40	Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen im Sinne der Vorsorge
> 40	Einschränkung bestimmter landwirtschaftlicher und gärtnerischer Bodennutzung, uneingeschränkte Nutzung bei minimalem Dioxintransfer

* Summe der 2, 3, 7, 8 - TCDD-Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CCMS), siehe Anlage 3