



Hintergrundwerte in Böden Bayerns



Fachtagung am 23. Oktober 2008

UmweltSpezial



Hintergrundwerte in Böden Bayerns

Fachtagung am 23. Oktober 2008

UmweltSpezial

Impressum

Hintergrundwerte in Böden Bayerns
Fachtagung des LfU am 23.10.2008
ISBN (Online-Version): 978-3-936385-45-8

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Textbearbeitung:

LfU Referat 108

Redaktion:

LfU Referat 12

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt / Autoren

Druck:

Eigendruck Bayer. Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

Oktober 2008

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'	5
Peter Spörlein, Dr. Edzard Hangen, Uwe Geuß, LfU	
Geogene Bleivorkommen in triassischen Sedimenten bei Altenstadt a. d. Waldnaab und Weiden - Modellgebiet im Rahmen des Projekts 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'	30
Manuela Hornung, Wasserwirtschaftsamt Weiden	
Lokal erhöhte Cr- und Ni-Gehalte am Beispiel des Serpentinits bei Schwarzenbach / Saale	38
Klaus Pfadenhauer, Wasserwirtschaftsamt Kronach	
Erstellung einer Bodenkarte mit hierarchischen Informationsebenen unter besonderer Berücksichtigung serpentinit-bürtiger Schwermetalle (Cr, Ni) in periglazialen Deckschichten und Böden Nordostbayerns	45
Alexander Heinel, Universität Regensburg	
Arsen in den Böden des Dachauer, Freisinger und Erdinger Mooses Ergänzungsprojekt zum Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'	50
Dr. Walter Martin, LfU	
Kennzeichnung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten	54
Uwe Geuß, Dr. Edzard Hangen, LfU	
Großflächige stoffliche Bodenbelastungen im Freistaat Sachsen	61
Dr. Ingo Müller, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	
Digitale Bodenbelastungskarten zur Beschreibung der Schadstoffsituation in Böden Nordrhein-Westfalens	70
Heinz Neite und Jörg Leisner-Saaber, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen	
Hintergrundwerte für Spurenelemente in Böden aus bundesweiter Sicht – aktueller Stand und Defizite vor dem Hintergrund der Novellierung der BBodSchV –	76
Dr. Jens Utermann, M. Fuchs, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	
Tagungsleitung / Referenten	87

Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'

Peter Spörlein, Dr. Edzard Hangen, Uwe Geuß, LfU

Zusammenfassung

Im Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze' (Graben) wurden bayernweit 1.134 Standorte qualitätsgesichert nach DIN EN ISO/IEC 17025 (2005) und in Zusammenarbeit mit 11 bayerischen Wasserwirtschaftsämtern bodenkundlich beschrieben und beprobt. Für die anorganische Analytik konnten 5.300 Bodenproben gewonnen werden sowie für die Untersuchung auf organische Schadstoffgehalte 3.500 Bodenproben. Für spätere Analysenzwecke liegen 8.800 Bodenproben als Rückstellproben (Anorganik/Organik) im LfU-Probenarchiv aufbereitet und z.T. feldfrisch bei -18°C gefroren vor.

Neben Basisparametern (z.B. Humusgehalt, pH-Wert, CNS) wurden die Bodenproben im Königswasseraufschluss, S4- und Ammoniumnitrat-Extrakt auf die Schwermetalle Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn, Sn untersucht.

Bei den organischen Schadstoffen erfolgte die Bestimmung von Acenaphten, Acenaphthylen, Anthracen, Benz(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(e)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(k)fluoranthen, Chrysen, Dibenz(a,h)anthracen, Fluoranthen, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphthalin, Perylen, Phenanthren, Pyren; PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153, PCB180, o,p- und pp-DDE, -DDD und -DDT, a-, b-, g- und d-HCH, Hexachlorbenzol. Diese Einzelparameter wurden zur Ableitung der Summenparameter EPA-PAH, PCB6, S-DDT und S-HCH herangezogen.

Für analytische Vergleichszwecke, z.B. Ringversuche, wurde ein Bodenstandard generiert.

Die Analytik inkl. der Probenaufbereitung und die Bodenprobenahme unterlagen aufwändigen Qualitätssicherungsmaßnahmen nach DIN EN ISO/IEC 17025 (2005).

Für die qualitätsgesicherte Erhebung der Geländedaten wurde das Erfassungs- und Transferprogramm BoKart entwickelt, das die Einspielung der erhobenen Daten über eine Schnittstelle in das bayerische Bodeninformationssystem (BIS) ermöglicht.

Für die Wahrnehmung von Aufgaben im vorsorgenden Bodenschutz wurden außerdem im Rahmen des Projekts sog. Bodenschutzingenieure (IngBS) eingestellt, mit der notwendigen Ausrüstung ausgestattet und intensiv bodenkundlich geschult. Somit wurden an 11 bayerischen Wasserwirtschaftsämtern die infrastrukturellen und personellen Voraussetzungen geschaffen, um die Aufgaben im vorsorgenden Bodenschutz in Bayern selbständig wahrzunehmen.

Die Ableitung von Hintergrundwerten erfolgte für anorganische und organische Schadstoffe auf grundlegend verschiedenen Wegen aufgrund der unterschiedlichen Herkunft der Schadstoffe (geogen v.a. bei Schwermetallen, anthropogen vorwiegend bei organischen Stoffen).

Für anorganische Schadstoffe in Ober- und Unterböden sowie dem Untergrund erfolgte die Auswertung substratbezogen nach den Vorgaben der Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 2003). Da für Bayern keine geeignete Grundlage zur Herstellung eines Substratbezugs zur Verfügung stand, wurde hierzu eine sog. Bodenausgangsgesteinskarte 1:500 000 (BAG) entwickelt.

Hintergrundwerte für organische Schadstoffe wurden mittels Geostatistik bestimmt. Die von der LABO vorgeschriebene, auf einwohnerdichteabhängigen Gebietstypen aufbauende Vorgehensweise erwies sich für die vorliegenden Daten als nicht zielführend. Deshalb wurde eine neue Auswertungsmethode

entwickelt, die eine Ableitung raumspezifischer Hintergrundwerte unter Berücksichtigung substanz- und horizontspezifischer Unterschiede ermöglicht.

Die mit den Auswertungsverfahren ermittelten Hintergrundwerte organischer und anorganischer Schadstoffe liegen als Tabellen und Karten vor. Für anorganische Schadstoffe existieren über 530 Tabellen und 270 Karten, für organische Schadstoffe 24 Karten und Tabellen.

Im Rahmen sogenannter Sonderprojekte wurden exemplarisch folgende Naturräume/Gebiete, in denen Voruntersuchungen auf eine geogene Hintergrundbelastung hinwiesen, detaillierter untersucht:

- Dachauer, Erdinger und Freisinger Moos sowie Winterrieder Moor (Arsen),
- Vitriolschiefer im Raum Würzburg (Nickel, Zink, Cobalt),
- Serpentinstandorte im Raum Schwarzenbach/Saale (Chrom, Nickel) und
- Triassische Sedimente im Raum Altstadt/Waldnaab – Weiden (Blei).

Bis auf die Untersuchungen im Würzburger Raum (Vitriolschiefer) bestätigte sich in allen Untersuchungsräumen der Hinweis auf eine erhöhte geogene Hintergrundbelastung. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bilden die Grundlage für die Abgrenzung von Gebieten mit Verdacht auf geogen erhöhte Hintergrundgehalte und der Festlegung gebietsspezifischer Hintergrundwerte.

Im Rahmen des Vorhabens 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze' wurden über 435.000 Daten zur Charakterisierung der Untersuchungsstandorte, ihrer Böden und ihres Stoffbestandes neu erhoben und ins bayerische Bodeninformationssystem (BIS) überführt. Die erhobenen Grundlagendaten sind hinsichtlich ihres Umfangs, des Aufwands der Datenerhebung (z.B. Flächenmischbeprobung, Profilbeprobung), ihrer Homogenität und des analytischen Parameterumfangs (z.B. KW, Ammoniumnitrat, S4) von hoher Qualität. Erstmals wurden neben Hintergrundwerten für Schwermetalle im Königswasseraufschluss auch Hintergrundwerte für den DEV-S4- und Ammoniumnitrat-Extrakt abgeleitet und können der Öffentlichkeit in Form von Tabellen und Hintergrundwertkarten zur Verfügung gestellt werden.

Mit Abschluss dieses Projektes verfügt Bayern über die notwendigen Instrumente und wissenschaftlich abgesicherten Informationsgrundlagen, die einen optimalen Vollzug der Bodenschutzgesetze in Bayern ermöglichen.

1 Einleitung

1.1 Sachstand

Mit Verabschiedung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1998) und der Einführung des Bayerischen Bodenschutzgesetzes (BayBodSchG) (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, 1999) wurde dem ehemaligen Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA), jetzt Landesamt für Umwelt (LfU), u.a. die Aufgabe übertragen, bayernweit flächendeckende Hintergrundwerte zu ermitteln.

Anlass für diesen Auftrag war, dass die bundeseinheitlichen Vorsorgewerte nicht die regional unterschiedliche Stoffausstattung der Böden oder geogen bedingt erhöhte Hintergrundgehalte berücksichtigt. Die Böden müssen aber für eine sachgerechte Umsetzung des BBodSchG (1998) in Bayern ausgewiesen werden, um im Einzelfall begründete Abweichungen vom Bewertungssystem des BBodSchG (1998) im Verwaltungsvollzug wissenschaftlich belegen zu können.

Das LfU hat im Rahmen verschiedener Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bereits damit begonnen, Hintergrundwerte für Problemstoffe in Böden nach den Vorgaben der Bundes – Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999) und der Bund-/Länderarbeitsgruppe Bodenschutz (LABO, 2003) abzuleiten. Trotz dieser Untersuchungen bestanden z.T. noch erhebliche Defizite für eine fachlich belastbare Ableitung und für die gebietsbezogene Festlegung von Hintergrundwerten. Außerdem lagen bisher nur geringe Kenntnisse über mobilisierbare Stoffgehalte in den Böden Bayerns vor. Ein weiteres Defizit war die noch nicht erfolgte Kennzeichnung von Gebieten mit Verdacht auf geogen erhöhte Stoffgehalte.

1.2 Zielsetzung

Das Vorhaben zielte insbesondere darauf ab,

- in enger Zusammenarbeit von LfU und Wasserwirtschaftsämtern durch problemorientierte Datenerhebungen, Bodenprobenahme und Analytik die Basis für den Vollzug der Bodenschutzgesetze zielgerichtet zu verbessern,
- die Infrastruktur und das Fachwissen zur selbständigen Bearbeitung von Vollzugsaufgaben im vorsorgenden Bodenschutz an den Wasserwirtschaftsämtern aufzubauen,
- die Methoden zur Kennzeichnung von Gebieten mit geogen erhöhten Hintergrundgehalten zu erarbeiten,
- substrat- und nutzungsbezogene Hintergrundwerte für anorganische und organische Problemstoffe abzuleiten und ggf. räumlich zu differenzieren und
- dabei gezielt Parameterlücken (z.B. mobilisierbare Problemstoffgehalte) zu schließen, die sich aufgrund der Bodenschutzgesetze ergeben.

Nach Abschluss des Vorhabens werden folgende Instrumente für den Vollzug der Bodenschutzgesetze zur Verfügung stehen:

- Ein digital verfügbarer Datenbestand über den stofflichen Ist-Zustand von Böden in Bayern (anorganische/organische/mobilisierbare Stoffe), aber auch von weiteren Kenngrößen wie z.B. pH-Wert und CNS-Gehalte im Bodeninformationssystem (BIS),
- Hintergrundwerttabellen in Abhängigkeit von Nutzung, Substrat und Bodenhorizont für anorganische und organische Problemstoffe,

- Hintergrundwertkarten,
- Exemplarische Methoden zur Kennzeichnung von Gebieten mit geogen erhöhten Hintergrundgehalten,
- ergänzte und erweiterte Bodenprobenbank zur Dokumentation des Boden-Ist-Zustandes in Bayern (Organik, Anorganik) sowie für die Bearbeitung von zukünftigen Fragestellungen im Sinne eines nachhaltigen Bodenschutzes.
- Bodenstandards für die analytische Qualitätssicherung (AQS) im Bodenschutz;

2 Material und Methoden

2.1 Probenahme

Die Probenahme erfolgte qualitätsgesichert nach DIN EN ISO/IEC 17025 (2005) horizontbezogen an 1134 Standorten. Bis 35 cm Tiefe wurden dabei Flächenmischproben entnommen.

Die Standortauswahl orientierte sich an einem expertengestützten 8 x 8 km Raster.

Um die im Feld erhobenen Daten direkt digital erfassen und gleichzeitig auf Plausibilität prüfen zu können sowie ein späteres Einstellen der Daten ins Bodeninformationssystem Bayern (BIS) zu erleichtern, wurde das Programm BoKart entwickelt.

2.2 Analytik

Die Probenaufbereitung erfolgte nach DIN ISO 11464 (1996).

Tab. 1 listet die Untersuchungsparameter der organischen Analytik inkl. der Probenpräparation sowie die Messverfahren und unteren Anwendungsgrenzen auf.

Tab. 1: Organische Analytik - Angewandte Analyseverfahren

Analytik nach VDLUFA Methodenbuch VII (VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN, 1996):		
Verbindung	Messverfahren ¹⁾	Untere Anwendungsgrenze
CKW (je Parameter 3152 Analysen): o,p- und pp-DDE, -DDD und -DDT; a-, b-, g- und d-HCH; Hexachlorbenzol	GC/MS	0,5 µg/kg
PCB (je Parameter 3152 Analysen): 6 Ballschmitter-PCB: PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153, PCB180	GC/MS	0,1 µg/kg
PAK (je Parameter 3152 Analysen): Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benz(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(e)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Dibenz(a,h)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphthalin, Perylen, Phenanthren, Pyren	GC/MS	0,5 µg/kg

Aufarbeitung DIN ISO 14154 (2005)		
Verbindung	Messverfahren²⁾	Untere Anwendungsgrenze
Pentachlorphenol	GC/MS	5,0 µg/kg
DIN ISO 10694 (1996); DIN ISO 13878 (1998); DIN ISO 15178 (2001); LFW-Merkblatt Nr. 3.8/5 (BAYERISCHE LANDESÄMTER FÜR UMWELTSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT, 2002); Hausvorschrift des Bayer. Geolog. Landesamtes: Bestimmung des Humusgehaltes im Boden (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1987)		
Element	Messverfahren	Untere Anwendungsgrenze
CNS (je Parameter 4039 Analysen): Gesamtkohlenstoffgehalt; org. Kohlenstoffgehalt; anorg. Kohlenstoffgehalt; Gesamtstickstoffgehalt; Gesamtschwefelgehalt	Elementar-analyse	0,1 %
¹⁾ Messung nach ISO/TC 190/SC 3/WG 7 N 24 (ISO, 2001) ²⁾ Messung nach VDI-Richtlinie 4301 (VDI, 2006)		

Zusätzlich zur Analytik nach Tabelle 1 wurden durch externe Laboratorien ca. 500 weitere Bodenproben auf ihren Gehalt an PCDD/F sowie non-ortho und mono-ortho PCBs gemäß BBodSchV (1999) untersucht.

Tabelle 2 zeigt die Untersuchungsparameter der anorganischen Analytik. Probenpräparation, Messverfahren sowie untere Anwendungsgrenzen sind ebenfalls dieser Tabelle zu entnehmen.

Tab. 2: Anorganische Analytik - Angewandte Analyseverfahren

Extraktion in Königswasser löslicher Spurenelemente nach DIN ISO 11466 (1997)					
Element	Messverfahren¹⁾	Untere Anwendungsgrenze	Element	Messverfahren¹⁾	Untere Anwendungsgrenze
Antimon (n= 4166)	ICP-MS	0,14 mg/kg	Nickel (n= 4166)	ICP-OES	2 mg/kg
Arsen (n= 4161)	ICP-OES	2 mg/kg	Quecksilber (n= 4166)	AAS-Hydrid	0,033 mg/kg
Blei (n= 4166)	ICP-OES	10 mg/kg	Selen (n= 4043)	AAS-Hydrea	0,25 mg/kg
Cadmium (n= 4166)	ICP-MS	0,14 mg/kg	Thallium (n= 4166)	ICP-MS	0,14 mg/kg
Chrom (n= 4166)	ICP-OES	5 mg/kg	Vanadium (n= 4166)	ICP-OES	2 mg/kg

Kobalt (n= 4166)	ICP-OES	2 mg/kg	Zink (n= 4166)	ICP-OES	20 mg/kg
Kupfer (n= 4166)	ICP-OES	10 mg/kg	Zinn (n= 4166)	ICP-OES	2 mg/kg
Molybdän (n= 4166)	ICP-OES	0,5 mg/kg			

DEV-S4 - Bestimmung der Eluierbarkeit mit **Wasser** – Im Maßstab 1:8 in Anlehnung an DIN 38414-4 (1984):

Element	Messverfahren ¹⁾	Untere Anwendungsgrenze	Element	Messverfahren ¹⁾	Untere Anwendungsgrenze
Antimon (n= 4166)	ICP-MS	0,004 mg/kg	Nickel (n= 4166)	ICP-MS	0,1 mg/kg
Arsen (n= 4166)	ICP-MS	0,02 mg/kg	Quecksilber (n= 4165)	AAS-Hydrid	0,002 mg/kg
Blei (n= 4166)	ICP-MS	0,004 mg/kg	Selen (n= 4043)	AAS-Hydrea	0,005 mg/kg
Cadmium (n= 4166)	ICP-MS	0,004 mg/kg	Thallium (n= 4166)	ICP-MS	0,004 mg/kg
Chrom (n= 4166)	ICP-MS	0,1 mg/kg	Vanadium (n= 4166)	ICP-MS	0,02 mg/kg
Kobalt (n= 4166)	ICP-MS	0,04 mg/kg	Zink (n= 4166)	ICP-MS	0,1-0,4 mg/kg
Kupfer (n= 4166)	ICP-MS	0,1 mg/kg	Zinn (n= 4166)	ICP-MS	0,02 mg/kg
Molybdän (n= 4166)	ICP-MS	0,1 mg/kg			

Extraktion von Spurenelementen mit **Ammoniumnitratlösung** nach DIN 19730 (1997):

Element	Messverfahren ¹⁾	Untere Anwendungsgrenze	Element	Messverfahren ¹⁾	Untere Anwendungsgrenze
Antimon (n= 4161)	ICP-MS	5 µg/kg	Nickel (n= 4161)	ICP-MS	125 µg/kg
Arsen (n= 4161)	ICP-MS	25 µg/kg	Quecksilber (n= 4153)	AAS-Hydrid	5 µg/kg
Blei (n= 4161)	ICP-MS	5 µg/kg	Selen (n= 4035)	AAS-Hydrea	2,5 µg/kg

Cadmium (n= 4161)	ICP-MS	5 µg/kg	Thallium (n= 4161)	ICP-MS	5 µg/kg
Chrom (n= 4161)	ICP-MS	125 µg/kg	Vanadium (n= 4161)	ICP-MS	25 µg/kg
Kobalt (n= 4161)	ICP-MS	50 µg/kg	Zink (n= 4161)	ICP-MS	125-500µg/kg
Kupfer (n= 4161)	ICP-MS	125 µg/kg	Zinn (n= 4161)	ICP-MS	25 µg/kg
Molybdän (n= 4161)	ICP-MS	125 µg/kg			
¹⁾ ICP-MS nach DIN 38406-29 (1999); ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 (1998), AAS-Hydrid nach DIN EN 1483 (2007); AAS- Hydrea: Hydridtechnik mit Graphitrohrkopplung nach DIN 38405-23 (1994)					

Als bodenphysikalische Kenngrößen wurden die Korngrößenverteilung nach E DIN ISO 11277 (1994) an 422 Bodenproben und die Trockenrohdichte für ca. 4300 Proben nach DIN ISO 11272 (2001) bestimmt.

Die aufbereiteten Proben liegen sowohl luftgetrocknet als auch bei -18°C tiefgefroren als Rückstellproben vor.

Für analytische Vergleichszwecke wurde außerdem ein Bodenstandard generiert.

2.3 Sonderprojekte zur Ermittlung geogener Hintergrundbelastung

In bestimmten Regionen Bayerns liegen geogen erhöhte Schadstoffgehalte im Boden vor, die im Rahmen folgender Sonderprojekte von den Bodenschutzingenieuren (IngBS) an einigen Wasserwirtschaftsämtern untersucht wurden:

- Dachauer, Erdinger und Freisinger Moos und Winterrieder Moor (Arsen),
- Vitriolschiefer im Raum Würzburg (Nickel, Zink, Cobalt),
- Serpentinstandorte im Raum Schwarzenbach/Saale (Chrom, Nickel),
- Triassische Sedimente im Raum Altstadt/Waldnaab – Weiden (Blei).

Diese Sonderuntersuchungen stellen den Startpunkt zur flächenhaften Kennzeichnung von Gebieten mit geogen erhöhten Hintergrundgehalten dar und sollten der exemplarischen Methodenentwicklung dienen.

3 Ermittlung von Hintergrundwerten anorganischer Schadstoffe und deren kartographische Darstellung

3.1 Einführung

Im Zuge des Projektes wurden Hintergrundwerte für die anorganischen Schadstoffe Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn und Sn im Königswasser-Extrakt auf der Grundlage von etwa 4300 Standorten (entspricht rund 17800 analysierten Proben) erarbeitet. Neben der Aufbereitung der Ergebnisse in tabellarischer Form war es ein Anliegen, die ermittelten Hintergrundwerte in Form von Übersichtskarten auch kartographisch darzustellen.

Die Ermittlung der anorganischen Hintergrundwerte richtete sich dabei nach den Vorgaben der Bundesländer-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 2003), die eine nach Bodenausgangsgestein, Horizontgruppe und Hauptnutzung getrennte Auswertung vorsieht. Der Hintergrundwert einer Auswertungseinheit ist dabei das 90. Perzentil eines mit $n \geq 20$ statistisch abgesicherten Datenkollektives.

Im Folgenden wird die Erarbeitung und Anwendung der Übersichtskarten im Maßstab 1:500.000 und des Tabellenwerkes für anorganische Schadstoffe beschrieben.

3.2 Erstellung einer Projektdatenbank

Für die Ermittlung der Hintergrundwerte anorganischer Schadstoffe wurden auf drei große Datenbestände zurückgegriffen:

- Projektdaten GRABEN, Königswasser-Extrakt
- Altdaten BIS, Königswasser-Extrakt
- Altdaten BIS, Totalaufschluss

Gerade bei den Altdaten aus dem Bayerischen Bodeninformationssystem (BIS) musste darauf geachtet werden, dass keine anthropogen überprägten Standorte und nur Standorte mit Analyseergebnissen jünger als 1980 verwendet wurden. Außerdem wurden Standorte innerhalb eines 50 m Puffers um Siedlungen genauso wie Standorte innerhalb eines beidseitigen Streifens von 50 m bei Bundesautobahnen bzw. innerhalb eines beidseitigen Streifens von 30 m bei Bundesstraßen verworfen.

Eine weitere Festlegung war, dass Analyseergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze durch den Wert 0 ersetzt wurden und bei mehreren Analysen pro Horizont nur das jüngste Ergebnis berücksichtigt wurde.

Alle drei Datenpools wurden zu einer Projektdatenbank vereinigt.

3.3 Entwicklung einer Bodenausgangsgesteinskarte

Während für die Nutzungsdifferenzierung von Forst und landwirtschaftlichen Flächen – Acker und Grünland wurden nicht getrennt betrachtet – auf einen ATKIS 500 Vektordatensatz zurückgegriffen werden konnte, gab es für die Bodenausgangsgesteine bzw. -gesteinsgruppen keinen Vektordatensatz in diesem Übersichtsmaßstab.

Aus diesem Grund wurde in einem iterativen Prozess der Vektordatensatz der Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BGR, Version Dezember 2004) unter Zuhilfenahme der Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, der Bodenübersichtskarte von Bayern 1:500.000 (aus dem Jahre 1950, nur als Rasterkarte vorliegend), den Bodenkarten von Bayern 1:200.000 (= veröffentlichte Bodenübersichtskarte 1:200.000 der BGR) umgearbeitet und parallel dazu eine neue Legendenbeschreibung entwickelt.

Bei diesen Arbeiten flossen das fachliche Wissen und die Gebietskenntnisse der Regionalbodenkundler der Landesaufnahme Boden des LfU in die Bodenausgangsgesteinskarte 1:500.000 (BAG500) mit ein.

Das Ergebnis ist eine Karte mit 30 mehr oder weniger homogenen Bodenausgangsgesteinsgruppen und zwei Nutzungseinheiten, die einerseits den geochemischen-petrographischen andererseits aber auch den pedologischen Ansprüchen gerecht wird. Diese Karte ist Grundlage für die Darstellung der Hintergrundwerte im Königswasseraufschluss für die Horizontgruppen Oberboden und Unterboden (siehe Abb. 1). Für den Untergrund wurde eine Überarbeitung des Vektordatensatzes vorgenommen.

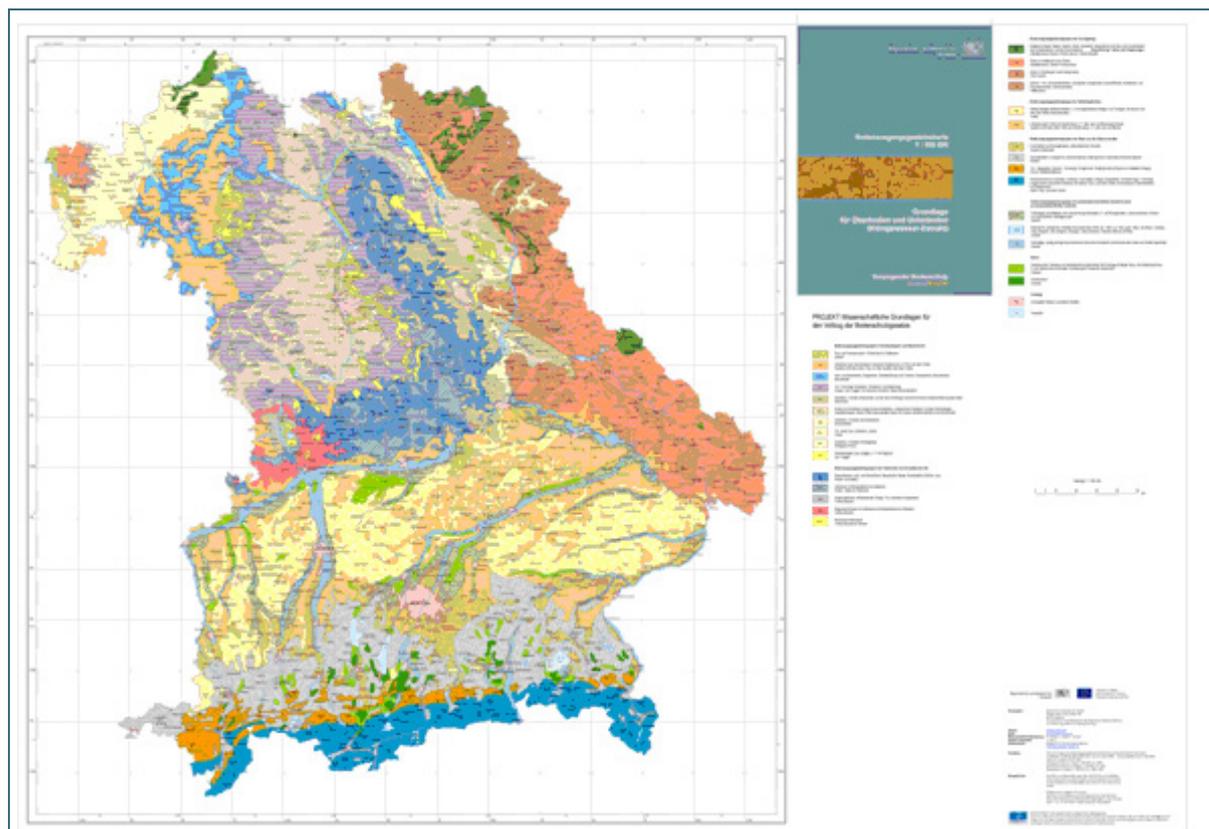


Abb. 1: Bodenausgangsgesteinskarte 1:500000 – Grundlage für die Übersichtskarten der Hintergrundwerte für Elemente im Königswasser-Extrakt Oberboden/Unterboden.

Neben dem Aufschluss im Königswasser-Extrakt (DIN ISO 11466) wurden Daten auch für den Ammoniumnitrat-Extrakt (DIN 19730) und das S4-Eluat (DIN 38 414-4) ermittelt und kartographisch dargestellt. Aufgrund der geringeren Datenmenge (nur Proben des Projektes) bei den zwei letztgenannten Aufschlussverfahren musste der Vektordatensatz zusätzlich angepasst werden. Hierbei wurden nochmals einige Legendeneinheiten zusammengefasst.

Für die kartographische Darstellung, aber auch zum Zweck der Vorsortierung der Punktdaten (siehe Kapitel 3.4.1) wurden insgesamt vier Vektordatensätze erarbeitet:

- Vektordatensatz BAG500 für den Königswasser-Extrakt (Oberboden und Unterboden),
- Vektordatensatz BAG500 für den Königswasser-Extrakt (Untergrund),

- Vektordatensatz BAG500 für Ammoniumnitrat-Extrakt und S4-Eluat (Oberboden und Unterboden),
- Vektordatensatz BAG500 für Ammoniumnitrat-Extrakt und S4-Eluat (Untergrund).

3.4 Ermittlung der Hintergrundwerte

3.4.1 Vorsortierung der Daten über GIS

Jedes Profil der Projektdatenbank ist neben der Objekt-ID eindeutig durch seine Koordinaten im Raum definiert. Mittels GIS wurde über die Funktionalität SPATIAL JOIN allen Profilen die Flächeninformation der Legendeneinheit der BAG500 mitgegeben. Zusätzlich zu dieser geometrisch exakten Legendeneinheit wurden für das Profil alle Legendeneinheiten in 8 km und 25 km Abstand als Alternativen ermittelt.

Dieser Arbeitsschritt bedeutete eine Vorsortierung der Daten und damit eine erste Bildung von Datenkollektiven für die spätere Auswertung.

3.4.2 Weitere Zuordnungen

Auswertungseinheiten

Der Komponentenbeschrieb eines Horizontes kennt mit dem bodenkundlich-geologischen Begriff und/oder der petrographischen Bezeichnung eine Fülle von Substratbeschreibungen des Feinbodens. Über eine eigens erarbeitete Schlüsselliste wurde jedem Horizont mit dem Ziel der Informationsreduzierung und Vereinheitlichung eine neue (Substrat-) Auswertungseinheit aus bis zu drei gegeneinander gewichteten Feinkomponenten zugewiesen. Diese Auswertungseinheiten der einzelnen Horizonte sind später maßgeblich bei der Horizontaggregation innerhalb einer Horizontgruppe.

Nutzungen

Aus den Profilbeschrieben wurde die aktuelle Nutzung entnommen. Acker und Grünland wurde als landwirtschaftliche Nutzfläche zusammengefasst, Laub-, Misch- und Nadelwald zu Forst. Ödland wurde im Einzelfall geprüft und einer der beiden Nutzungen zugeordnet oder aus der Datenbank entfernt.

Horizontgruppen nach LABO

Anhand eines eigens entwickelten Erkennungsmusters für Horizontbezeichnungen wurde mittels VBA jedem Horizont zunächst eine interne 'LABO-Nummer' vergeben. Diese numerische Codierung wurde dann zusammen mit der Nutzung und der Horizontmächtigkeit herangezogen, um durch SQL-Abfragen die eigentlichen Horizontgruppen der LABO-Spezifikation zu erarbeiten.

Trockenrohdichte

Dieser für eine Aggregation innerhalb der Horizontgruppe notwendige Wert lag für lediglich 30 % der Daten vor. Aus diesem Grund wurde über Mittelwertbildungen aus den bestehenden Angaben zu Trockenrohdichten Werte für die verbleibenden Horizonte extrapoliert.

3.4.3 Validierung

Für die fachliche Validierung wurde in ACCESS ein Datenviewer programmiert, der die vorsortierten Profile nach Bodenausgangsgesteinsgruppen, Horizontgruppen und Nutzungen in allen Kombinationsmöglichkeiten darstellt (siehe Abb. 2).

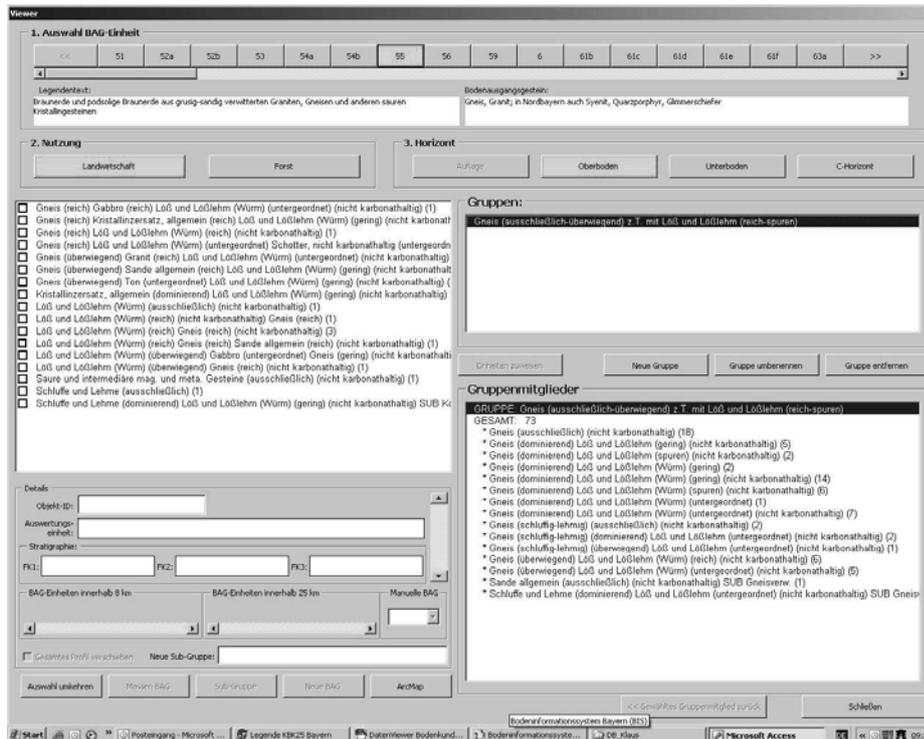


Abb. 2: Datenviewer

Mit dem Datenviewer wurde nicht nur die Zugehörigkeit eines Profils zu einer Bodenausgangsgesteinsgruppe (= BAG-Einheit) überprüft, sondern die validen Profile auch zu Auswertungsuntereinheiten gruppiert (siehe rechtes Fenster des Datenviewers). Diese Auswertungsuntereinheiten spiegeln die bodenartigen Besonderheiten einer BAG-Einheit wider. Passt ein Profil nicht in die zunächst ermittelte BAG-Einheit, wurde es einer der zuvor generierten, alternativen Einheiten zugeordnet. Mit der Validierung der Vorsortierung und der Bildung von Auswertungsuntereinheiten wurde aber auch umgekehrt die Anzahl der BAG-Einheiten der Bodenausgangsgesteinskarte überprüft, wenn die Vorgabe der LABO eines Stichprobenumfanges von $n \geq 20$ möglichst bei allen gefundenen Datenkollektiven gewährleistet werden sollte.

Mit Abschluss der Validierung und der Bildung von Auswertungsuntereinheiten aller Kombinationen aus Bodenausgangsgesteinsgruppen, Horizontgruppen und Nutzungen wurden nun für alle Profile der gefundenen Datenkollektive die Wertetabellen mit den Analysedaten einschließlich der neu errechneten Analysedaten aus den jetzt durchgeführten Horizontaggregationen und den Umrechnungen der Totalgehalte nach Königswassergehalten zusammengestellt. Diese Tabellen der einzelnen Datenkollektive wurden dann in SPSS statistisch ausgewertet.

3.4.4 Deskriptive Statistik

Die Analysenwertetabellen wurden mit dem 1,5 Interquartilabstand ausreißerbereinigt. Die so bereinigten Tabellen wurden einer deskriptiven Statistik unterzogen und die Ergebnisse in zwei Formen ausgegeben.

3.4.5 Datenausgabe

Die wichtigste Datenausgabe stellt das Tabellenwerk der Hintergrundwerte anorganischer Schadstoffe der Böden Bayerns dar. Dieses Tabellenwerk ist gegliedert nach den Bodenausgangsgesteinsgruppen (= BAG-Einheiten) und deren Auswertungsuntereinheiten, nach den Horizontgruppen Oberboden, Unterboden und Untergrund sowie nach den beiden Hauptnutzungen Landwirtschaft/Grünland und Forst. Für jede der Kombinationen liegen in Tabellenform alle statistischen Ergebnisse für die Element-

te Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn und Sn vor. Der Hintergrundwert (= 90. Perzentil) einer Einheit wird generell fett hervorgehoben. Handelt es sich dagegen nur um Hintergrundgehalte (ab $n \geq 10$), werden diese kursiv dargestellt.

So existieren beispielsweise für die Bodenausgangsgesteinsgruppe 18 (sandig-kiesiges Molassematerial zum Teil mit eingeschalteten Ton- und Mergellagen; S-Bayern) für die Nutzung Acker, Grünland und die Horizontgruppe Oberböden mehrere Auswertungsuntereinheiten (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Tabellendarstellung von Hintergrundwerten am Beispiel des Oberbodens der Bodenausgangsgesteinsgruppe 18 unter landwirtschaftlicher Nutzung

Bodenausgangsgesteinsgruppe: 18															
Nutzung: Acker, Grünland															
Oberböden															
Auswertungsuntereinheit: Tertiäre Sande															
mg/kg	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	V	Zn
n	10	25	21	26	19	23	7	25	25	6	7	6	6	22	25
Schiefe	-0,1	0,05	1	0,84	0,05	0,92		1,2	0,09					0,65	0,25
Kurtosis	-2	-1,2	0,62	0,02	-0,6	0,88		1,5	-1,2					-0,5	-0,2
Min.	4,6	0,07	3	14	3,7	0,03	0,5	6	6,6	0,25	0,25	2	0,13	19	29
10.P.	4,6	0,08	3,4	15	3,9	0,03		7,2	7,7					21	31
25.P.	5,8	0,1	3,8	17	6	0,04		9,1	10					24	38
Median	9,4	0,12	5,2	22	10	0,06	0,51	12	13	0,52	0,25	2	0,14	30	49
75.P.	11	0,15	7	28	13	0,08		18	18					37	56
90.P.	13	0,17	10	36	17	0,11		23	20					47	63
Max.	13	0,18	12	41	17	0,14	0,61	32	20	1,2	0,26	2,4	0,24	51	77

Für die Erarbeitung von Karten wurden zudem die Auswertungsergebnisse der Statistik für alle Kombinationen der oben erwähnten Elemente, Horizontgruppen und Nutzungen in Form von DBF-Tabellen ausgegeben. Diese Sachdatentabellen wurden anschließend dem Vektordatensatz der jeweiligen Bodenausgangsgesteinskarte zugespielt. Treten innerhalb einer BAG-Einheit mehrere Auswertungsuntereinheiten mit einem 90. Perzentil auf, wird das maximale 90. Perzentil in der DBF-Tabelle aufgeführt.

3.5 Kartographische Darstellung

3.5.1 Das Kartenwerk

Die Übersichtskarten der Hintergrundwerte anorganischer Schadstoffe in Böden Bayerns beruhen auf der kartographischen Grundlage der jeweiligen Bodenausgangsgesteinskarte, denen für die einzelnen Elemente, Horizontgruppen und Nutzungen die passende DBF-Tabelle mit den maximalen 90. Perzentilwerten hinterlegt ist. Somit erhalten alle Flächen einer BAG-Einheit den gleichen Wert (Prinzip der Kennwertübertragung).

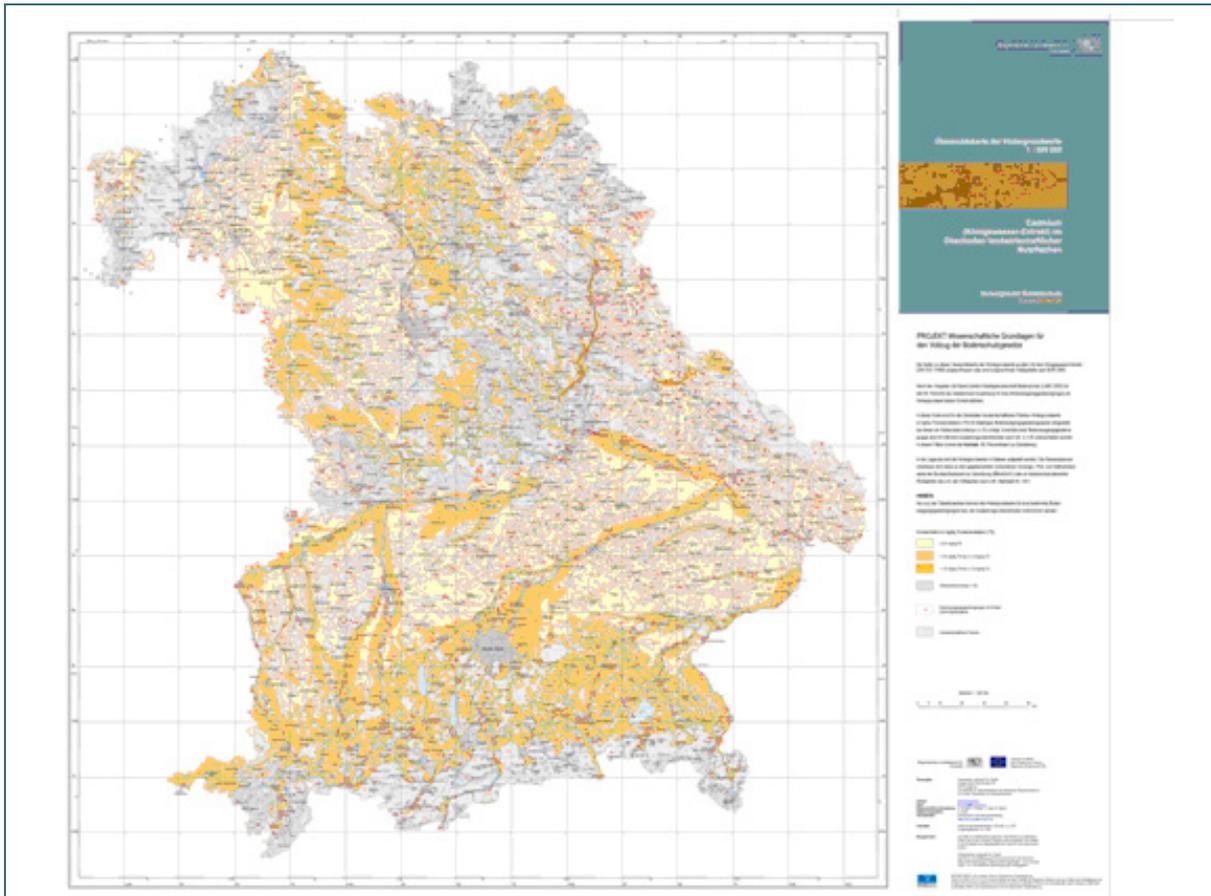


Abb. 3: Übersichtskarte der Hintergrundwerte für Cadmium (Königswasser-Extrakt) für Oberboden der landwirtschaftlichen Nutzflächen.

In den Karten wurden die Hintergrundwerte der einzelnen BAG-Einheiten nicht direkt, sondern in maximal fünf Gruppen nach Prüf-, Maßnahme-, Hilfs- und sonstigen Werten des jeweiligen Elementes klassifiziert dargestellt. BAG-Einheiten, die wegen der fehlenden statistischen Absicherung von $n \geq 90$ kein 90. Perzentil haben (aber dennoch Hintergrundgehalte haben können), werden grau dargestellt. Die Legende der Klassengruppen folgt grob dem Farbschema Beige – Orange – Braun. Dieses Farbschema wurde bewusst gewählt, um keinerlei Gefährdungsaussagen zu assoziieren.

Die Nutzungsdifferenzierung wurde durch Überlagerung der klassifizierten Hintergrundwertekarte mit der entgegen gesetzten Landnutzung erreicht, in der Hintergrundwertekarte für die landwirtschaftlichen Flächen die Forstflächen ausgeblendet (siehe Abb. 3).

Für die Elemente Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn und Sn stehen entsprechend den Kombinationen Landwirtschaft Oberboden, Landwirtschaft Unterboden, Forst Oberboden, Forst Unterboden und Untergrund jeweils fünf Übersichtskarten der Hintergrundwerte im Königswasser-Extrakt zur Verfügung. Dies sind somit insgesamt 75 Karten.

Parallel zu den Auswertungen der Analysedaten im Königswasser-Extrakt wurden aber auch Daten im Ammoniumnitrat-Extrakt und im S4-Eluat mit dem Unterschied ausgewertet, dass alle Profilpunkte nach dem SPATIAL JOIN in der BAG-Einheit verblieben. Der Rest der Auswertung bleibt wieder gleich, auch die kartographische Darstellung ist genauso aufgebaut, so dass für die beiden Analyseverfahren jeweils 75 weitere Übersichtskarten der Hintergrundwerte hinzukommen.

Die Karten liegen derzeit alle als ARCGIS-Projektdateien vor. Ein Kartendruck ist nicht vorgesehen, die Einstellung der Daten ins BIS erfolgt zeitnah.

3.5.2 Nutzung der Karten

Die Übersichtskarten der Hintergrundwerte anorganischer Schadstoffe geben für die einzelnen Elemente für jede Horizontgruppe und Nutzung auf einen Blick klassifiziert anhand von Prüf-, Maßnahmen-, Hilfs- und sonstiger Werte eine Einschätzung des (maximalen) 90. Perzentils für Auswertungsuntereinheiten von Bodenausgangsgesteinsgruppen an und verstehen sich als erste Orientierung zum Nachschlagen im Tabellenwerk.

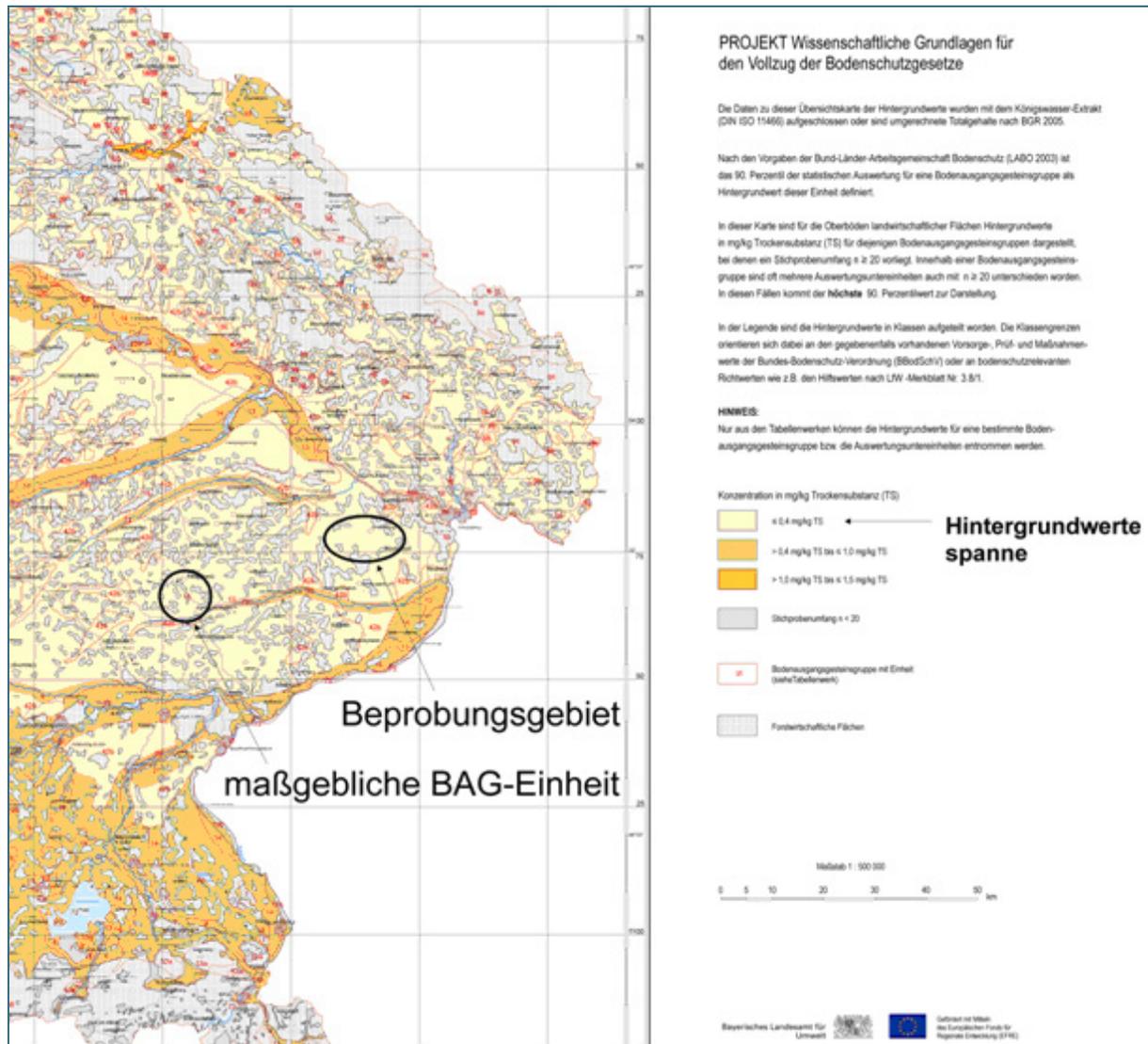


Abb. 4: Lesebeispiel zum Gebrauch der Übersichtskarten der Hintergrundwerte.

Liegen bei einer konkreten, bodenschutzfachlich qualifiziert genommenen Beprobung Analysedaten vor, können diese Werte zunächst mit der entsprechenden Übersichtskarte der Hintergrundwerte verglichen werden. Dazu ist zuerst das Beprobungsgebiet auf der Karte auszumachen und nicht nur die eventuell vorhandene Hintergrundwertspanne zu entnehmen, sondern vor allem die maßgebliche BAG-Einheit (siehe Abb. 4). Diese BAG-Einheit ist der Schlüssel zum Tabellenwerk, wo dann unter der relevanten BAG-Einheit im Substratabgleich mit dem Profil die entsprechende Auswertungsuntereinheit ausfindig gemacht werden muss. Nur das Tabellenwerk enthält konkrete Hintergrundwerte.

4 Gebietstypisierung und Ableitung der Hintergrundwerte der organischen Bodenschadstoffe und anorganischen Stoffe der Waldauflage

4.1 Vergleich zwischen siedlungsstruktureller (LABO) und immissionspezifischer Gliederung des Untersuchungsgebiets

Für eine Gebietsdifferenzierung der Verteilung organischer Schadstoffe im Boden wurde eine siedlungsstrukturelle Gebietstypisierung geprüft, bei der das Gesamtgebiet in Teilräume unterschiedlicher Siedlungsdichte unterteilt wurde (LABO, 2003). Im Gegensatz zu diesem siedlungsdichteabhängigen Ansatz wurde ein immissionspezifischer Ansatz erprobt, bei dem der Gesamtdatensatz der Stoffgehalte des Untersuchungsgebiets in 6 Perzentilbereiche (Schwellenwerte: 10., 25., 50., 75., 90. Perzentil) mittels geostatistischer Interpolationsverfahren unterteilt wurde. Für jeden so ausgewiesenen Teilraum wurden statistische Kenngrößen wie z.B. die 90. Perzentilwerte der gemessenen Stoffgehalte in dieser Fläche aufgeführt. Anhand der EPA-PAH Gehalte der Waldauflagen wurden die räumlichen Zuordnungen beider Vorgehensweisen einander gegenübergestellt (siehe Abb. 5).

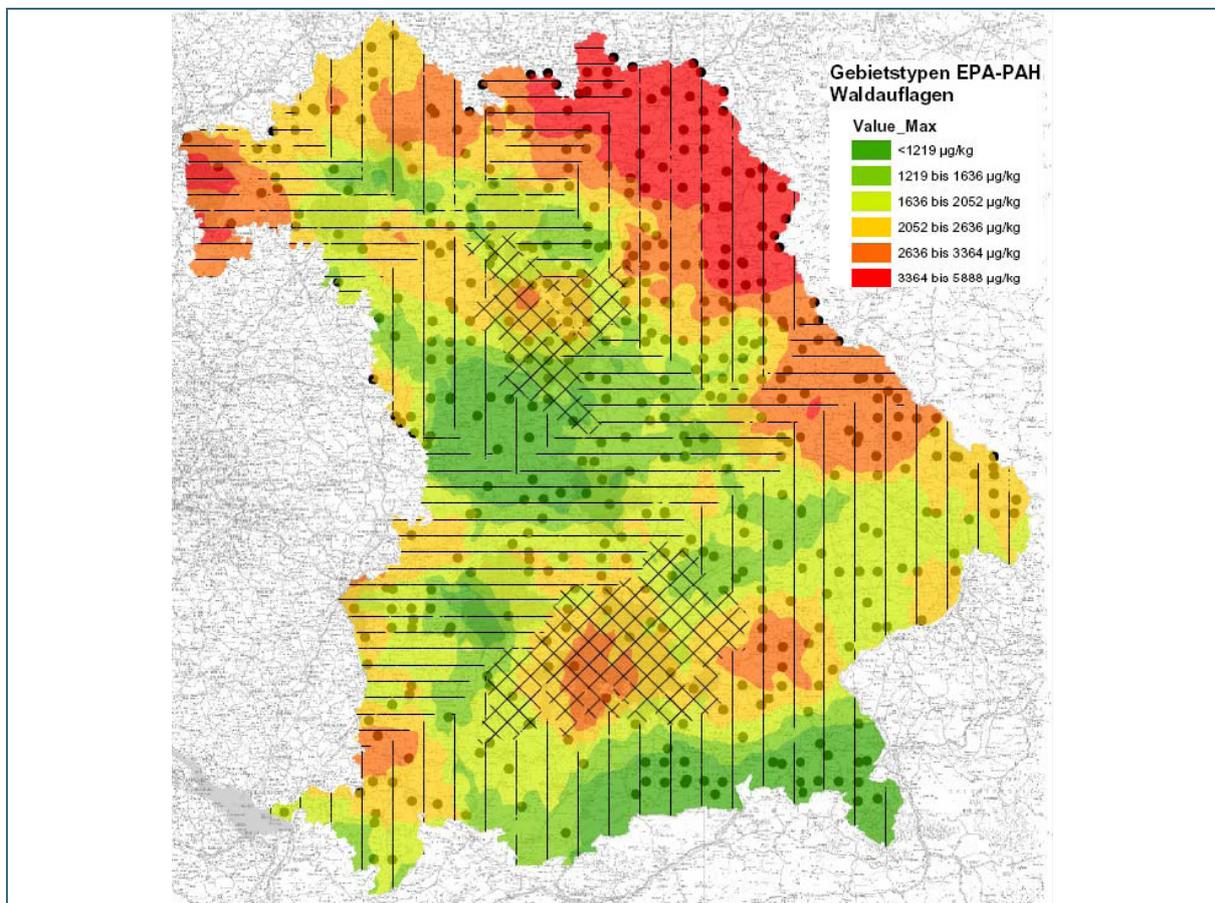


Abb. 5: Gebietstypisierung von EPA-PAH-Gehalten in Waldauflagen Bayerns mittels Indikatorkriging und nach LABO-Vorgaben. Punkte kennzeichnen die verwendeten Stützwerte. LABO-Vorgaben: Gebietstyp 1 (Regionen mit großen Verdichtungsräumen (Kreuzschraffur)); Gebietstyp 2 (Regionen mit Verdichtungsansätzen (Querschraffur)); Gebietstyp 3 (ländlich geprägte Räume (Längsschraffur)).

Werden die LABO-Vorgaben, d.h. siedlungsstrukturelle Gliederung, der Auswertung zugrundegelegt, ist der Gebietstyp „ländlicher Raum“ sowohl durch die höchsten, als auch die niedrigsten EPA-PAH-Gehalte gekennzeichnet (siehe Tab. 4).

Tab. 4: Statistische Kennwerte des EPA-PAH-Gehalts ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS) der Auflagen in den 3 LABO-Teilräumen (Typ I: Verdichtungsraum; Typ II: Raum mit Verdichtungsansätzen; Typ III: ländlicher Raum).

	Typ I	Typ II	Typ III
Anzahl	47	149	269
Median	1912	1789	1834
Mittelwert	2083	2136	2264
Minimum	174	118	69
Maximum	6087	6456	6576
Hintergrundwert (90. Perzentil)	3541	4779	4734

Die statistischen Kennwerte für die EPA-PAH-Konzentrationen der Auflagen Bayerns zeigen im Gegensatz zur immissionsspezifischen Differenzierung, für die LABO-Gebietstypen keine einheitliche Reihenfolge an. Die Werte des 90. Perzentils, die den Hintergrundwerten entsprechen, steigen von Typ I über Typ III zu Typ II an (siehe Tab. 4). Diese Reihenfolge ist auf die hohen EPA-PAH-Immissionen in den ländlichen Regionen (Typ III) Nord- und Nordostbayerns zurückzuführen. Die Gebietstypisierung nach LABO (2003) wird für die organischen Schadstoffe nicht den bayerischen Verhältnissen gerecht und wird durch ein alternatives Verfahren ersetzt.

4.2 Ausweisung von Auswertungsteilräumen mittels Geostatistik (Organik und Anorganik in Auflagen)

Für die Ableitung raumdifferenzierter Hintergrundwerte für organische Schadstoffe und anorganische Stoffe in Auflagen wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Bayreuth ein geostatistisches Interpolationsverfahren angewendet. Dieses Verfahren berücksichtigt sowohl stoff-, als auch horizontspezifische Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Hintergrundwerte.

4.2.1 Interpolation

Nach Ausreißerbereinigung (± 1.5 Interquartilkriterium) wurden die punktuell (8×8 km) erhobenen organischen und anorganischen Schadstoffwerte der Auflage in ein 1×1 km Raster mittels Indikator Kriging interpoliert. Indikator Kriging ermöglicht Aussagen zur Überschreitungswahrscheinlichkeit beliebiger Schwellenwerte oder zur Verteilung bestimmter Perzentilwerte. Grundlage für die Anwendung des Krigings ist eine räumliche Abhängigkeit der Datenpunkte, die über eine Variogrammanalyse (Variogram 2.2; PANNATIER, 1998) überprüft wurde. Das experimentelle Variogramm quantifiziert die durchschnittliche Semivarianz zwischen N Datenpunkten an den Positionen u_α , die durch die Abstandsklasse h voneinander getrennt sind, nach:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_\alpha) - z(u_\alpha + h)]^2 \quad [\mu\text{g}/\text{kg}]^2 \quad (\text{Gleichung 1})$$

Die für jeden Schwellenwert ermittelten Variogrammparameter Nugget (Wert der Autovarianz), Sill (Schwellenwert der maximalen Semivarianz; Partial Sill = Sill - Nugget) und Range (Reichweite räumlicher Korrelation) (Gleichung 1) gingen in die eigentlichen Krigingoperationen des Modellpakets WinGsLib 1.3.1 (DEUTSCH und JOURNAL, 1998) ein.

Bei Krigeschätzungen handelt es sich um Regressionsalgorithmen der Form:

$$Z^*(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) \cdot [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad [-] \quad (\text{Gleichung 2})$$

Diese erzeugen unter Wahrung des kleinsten Fehlerquadrats Schätzwerte an unbekanntem Positionen. Dabei ist $Z^*(u)$ der lineare Regressionsschätzer an der Position u , $\lambda_{\alpha}(u)$ der Wichtungsfaktor des gemessenen Wertes $Z(u_{\alpha})$, $m(u)$ und $m(u_{\alpha})$ die erwarteten Mittelwerte der Zufallsvariablen $Z^*(u)$ und $Z(u_{\alpha})$ (DEUTSCH, 2002). Beim Indikator Kriging werden die Messwerte der Stützpunkte in binäre Werte in Abhängigkeit zuvor definierter Schwellenwerte übersetzt. Die stützenden und interpolierten Indikatorwerte wurden in reale Schadstoffkonzentrationen zurück transformiert. Das Gesamtgebiet Bayerns wurde zunächst in 6 Teilräume unterteilt. Als Grenzwerte zur Teilraumabgrenzung dienten das 10., 25., 50., 75. und 90. Perzentil aller gekrigten Werte. Die Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen ausgewiesenen Teilräumen erfolgte über Box-Whisker Plots (LABO, 2003).

4.2.1.1 Prüfung des verwendeten Interpolationsverfahrens

Um ihren Einfluss auf die räumliche Verteilung von gehaltsabhängigen Teilräumen zu überprüfen, wurden die Ergebnisse ohne und mit Datentransformation in die Normalverteilung für den Summenparameter EPA-PAH verglichen. Für diesen Schadstoff lieferte die Datentransformation über die 3. Wurzel eine gute Annäherung an die Normalverteilung (Abb. 6).

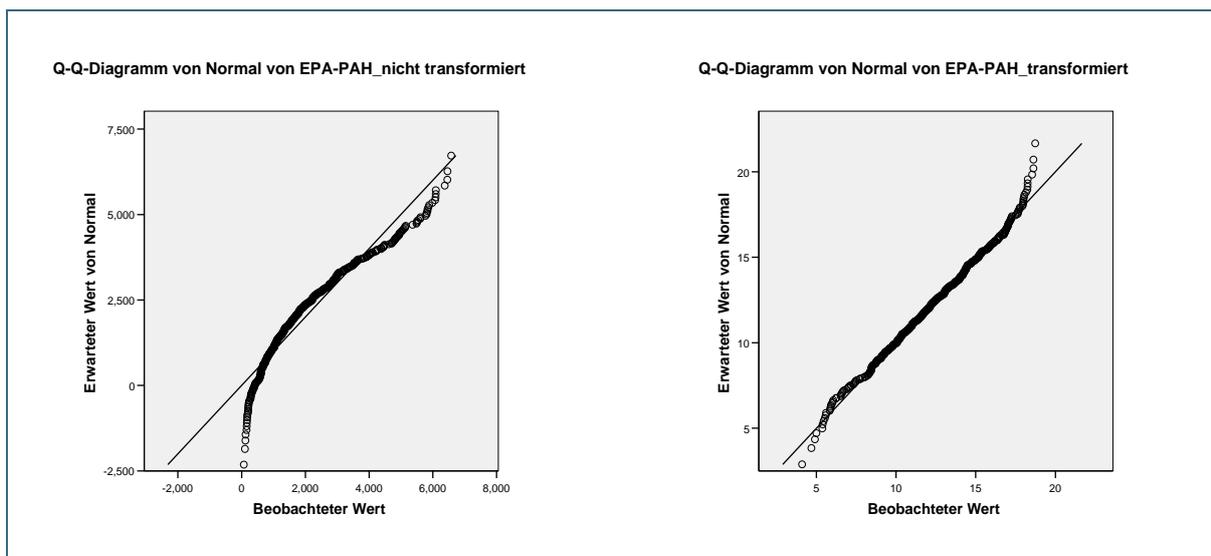


Abb. 6: Anpassung der EPA-PAH Stützwerte an die Normalverteilung, ohne (links) und mit (rechts) Transformation.

Nach Durchlaufen der Interpolation wurden die gekrigten Werte zurück transformiert und das Gesamtgebiet in 6 Teilräume untergliedert. Die Retransformation erfolgte nach:

$$E(y) = (E(x))^3 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{\sigma(x)}{E(x)} \right)^2 \right] \quad [\mu\text{g}/\text{kg}] \quad (\text{Gleichung 3})$$

wobei: $E(y)$: Rücktransformierter Wert

$E(x)$: Transformierter Messwert

$\sigma(x)$: Standardabweichung der transformierten Messwerte.

Nur unwesentliche Verschiebungen der Teilraumgrenzen für EPA-PAH sind infolge der Transformation erkennbar (Abb. 7).

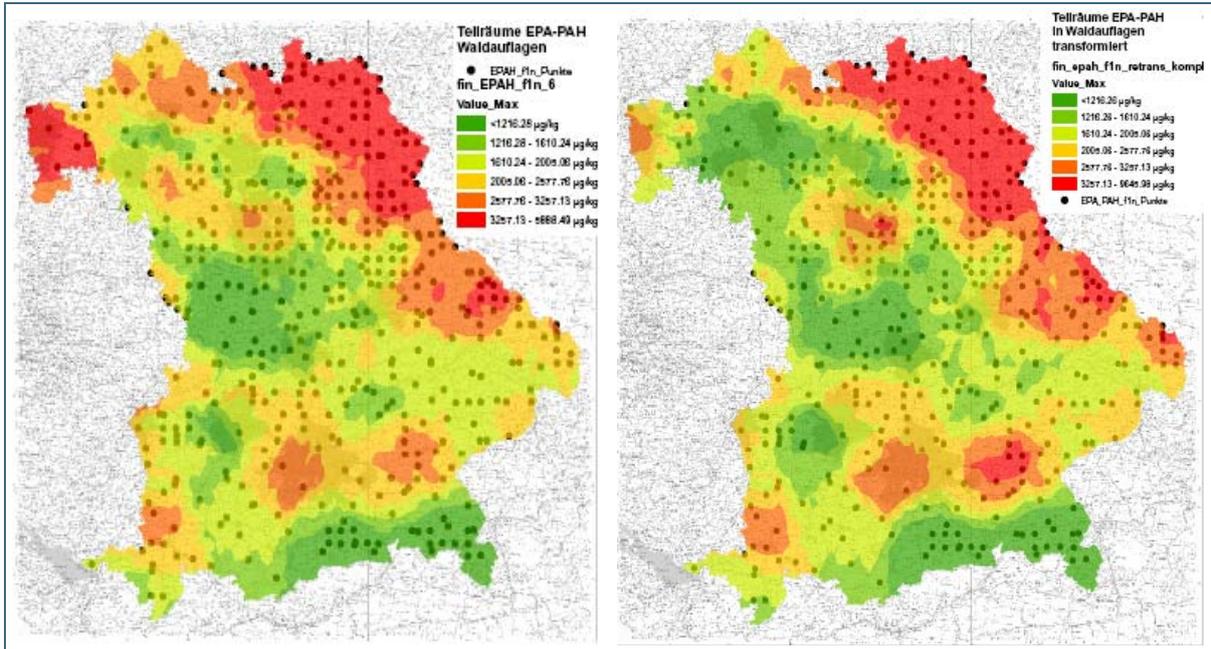


Abb. 7: Teilräume des Summenparameters EPA-PAH in Waldauflagen und Stützpunkte. Die Teilräume entsprechen den Schwellen des 10., 25., 50., 75., 90. und 100. Perzentilwertes der gekrigten Wertefläche; links: Ohne Transformation; rechts: Mit Transformation (3. Wurzel).

Auch der Vergleich zwischen Ordinary Kriging, das die interpolierten Krigewerte direkt auf Basis der Stützpunktdaten generiert, und dem auf kumulativen Häufigkeitsverteilungen basierenden Indikator Kriging zeigte keine wesentlichen Unterschiede in der Teilraumausgrenzung.

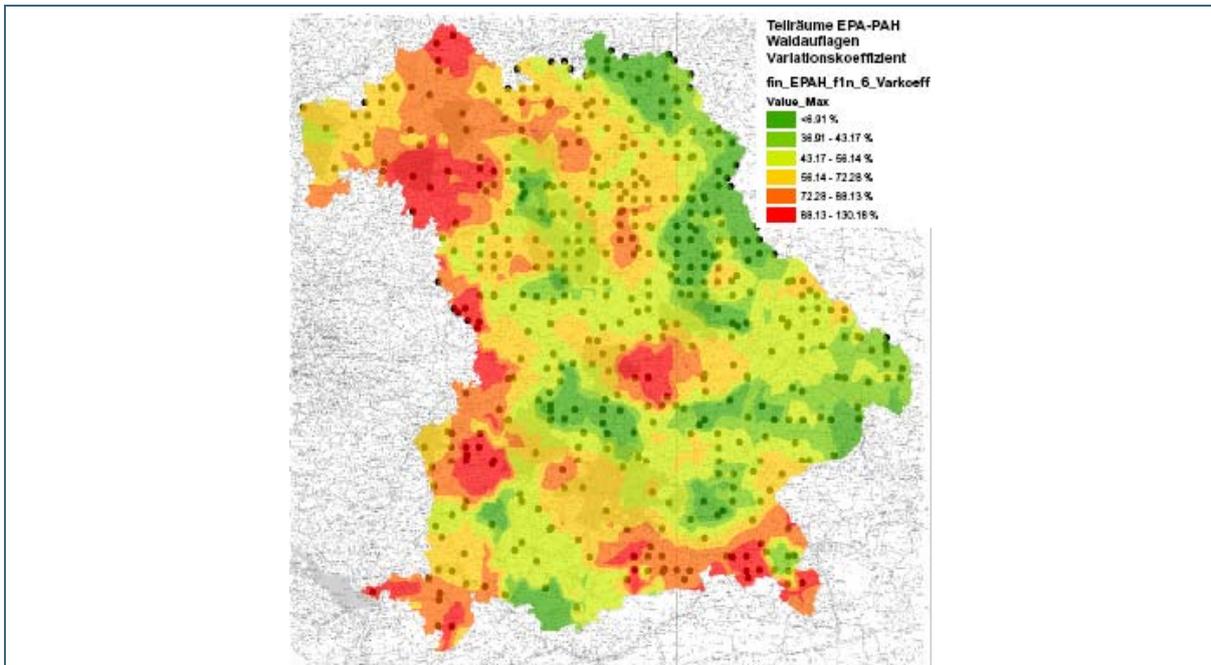


Abb. 8: Teilräume der Variationskoeffizienten des Summenparameters EPA-PAH in Waldauflagen und Stützpunkte. Die Teilräume entsprechen den Schwellen des 10., 25., 50., 75., 90. und 100. Perzentilwertes der gekrigten Wertefläche.

Eine Darstellung von Krigevarianzen, d.h. die Abbildung von Schätzunsicherheiten, die sowohl die Messnetzkonfiguration als auch die Variabilität der benachbarten Messwerte widerspiegelt (DOBLER et al., 2003), und den daraus abgeleiteten Variationskoeffizienten zeigt, dass die erhöhten Schadstoffwerte im NO-Teil Bayerns einen relativ geringen Variationskoeffizienten aufweisen, der Voralpenraum und das Allgäu dagegen durch eine hohe Variabilität gekennzeichnet sind (siehe Abb. 8).

Im Sinne einer Kreuzvalidierung wurden die zufällig ausgewählten Teildatensätze A, B, C und D (n = 116) kombiniert (n = 232) für das Indikator Kriging herangezogen und die Teilraumzuordnungen der Stützwertkombinationen AB, AC, AD, BC, BD und CD verglichen. Alle 6 Stützwertkombinationen ergaben nach Interpolation weitgehend übereinstimmende Teilräume (Abb. 9), was als Hinweis auf die Validität des eingesetzten Interpolationsverfahrens gelten kann (HINTERDING et al., 2003).

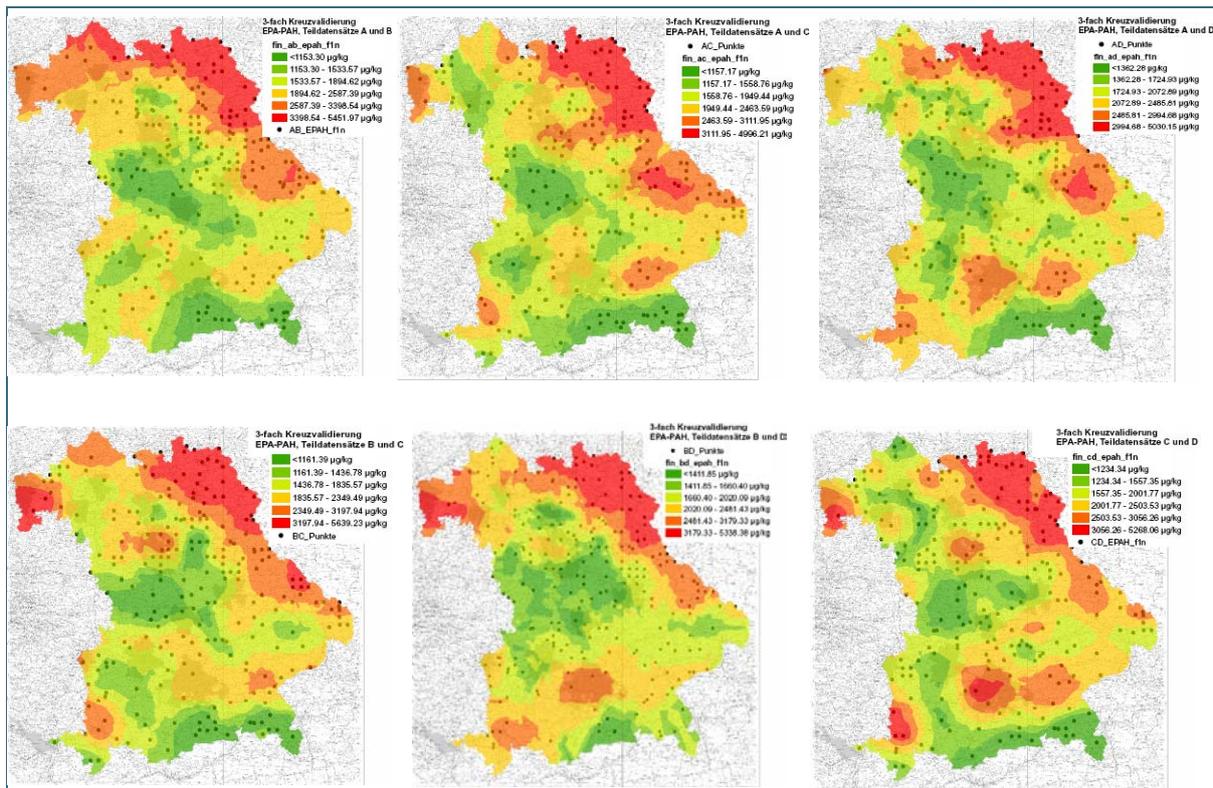


Abb. 9: Teilräume des Summenparameters EPA-PAH in Waldauflagen und Stützpunkte. Die Teilräume entsprechen den Schwellen des 10., 25., 50., 75., 90. und 100. Perzentilwertes der gekrigten Wertefläche; oben links: Stützwertkombination AB; oben Mitte: Stützwertkombination AC; oben rechts: Stützwertkombination AD; unten links: Stützwertkombination BC; unten Mitte: Stützwertkombination BD; unten rechts: Stützwertkombination CD.

In räumlich eng begrenzten Bereichen östlich von Nürnberg, im Raum München und in der Rhön erreicht die mittlere Streuung Werte von bis zu 2.5 Klasseneinheiten bzw. 42 % der 6-stufigen Gesamtklassifizierung. Der Großteil des betrachteten Gesamtgebiets weist allerdings Streuungswerte < 1 auf.

Als weiteres Kriterium der Leistungsfähigkeit des verwendeten Interpolationsverfahrens wurde eine verrauschte synthetische Wertefläche untersucht: Auf Grundlage von AB wurden die Messwerte des Teildatensatzes CD punktgenau mittels Ordinary Kriging abgeschätzt. Entsprechend der normalverteilten Residuen aus dem Messwert von CD und dem entsprechenden Schätzwert (HINTERDING et al., 2003) wurden für die Stützpunkte synthetische Werte mit denselben statistischen Momenten generiert, die als Grundlage einer weiteren Interpolation dienten. Diese Interpolation wurde mit der Interpolation des Teildatensatzes AB überlagert. Die nachfolgend vorgenommene Unterteilung in 6 Teilräume zeigt

ten Übereinstimmungen am Nordost-Rand Bayerns und im westlichen Mittelfranken sowie Abweichungen im Voralpenraum, der Region um München sowie dem Chemiedreieck östlich Münchens (Abb. 10). Derartige Artefakte sind evtl. auf ein gewisses Maß an räumlich nicht erklärter Variabilität zurückzuführen. Da im Projekt GRABEN die Interpolation lediglich der räumlichen Abgrenzung immisionsspezifischer Teilräume und nicht der Rekonstruktion einzelner Messwerte dient, erscheint eine geringe restliche Unschärfe als vertretbar.

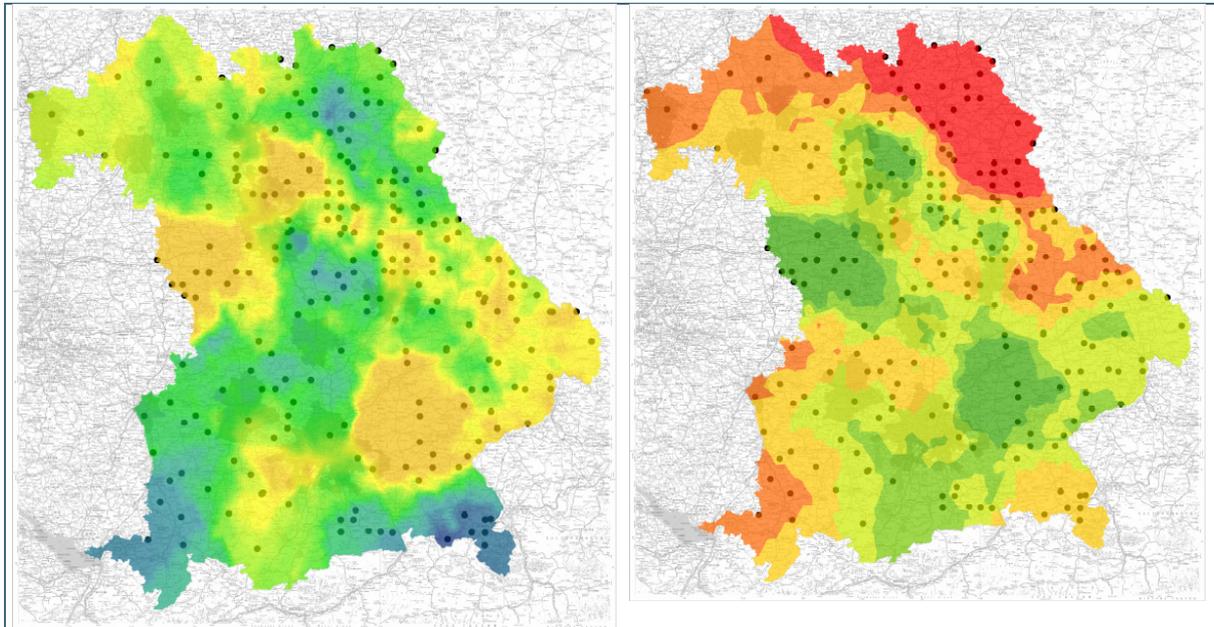


Abb. 10: Links: Verrauschte Einheitsfläche auf Grundlage der Residuen zwischen punktgenauen Krigewerten eines Teildatensatzes und den entsprechenden Messwerten des komplementären Teildatensatzes CD. Rechts: Überlagerung der synthetischen Fläche mit der Gebietszuweisung auf Grundlage des Teildatensatzes AB.

4.3 Ergebnisse und Diskussion

Auf Seiten der organischen Schadstoffe wurden die Summenparameter EPA-PAH, PCB6, S-DDT sowie für Benzo(a)pyren und Hexachlorbenzol für die Landnutzungen Forst und Landwirtschaft jeweils für Auflagen (Wald), Oberböden, Unterböden und den Untergrund ausgewertet. Arsen, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Molybdän, Nickel, Blei, Antimon, Selen, Zinn, Thallium, Vanadium und Zink wurden auf Seiten der anorganischen Schadstoffe nach obigem Verfahren für die Waldaufgaben ausgewertet.

Die Stützpunktwerte der landwirtschaftlichen Flächen zeigen keine räumliche Korrelation, sondern werden durch einen Nuggeteffekt dominiert (Abb. 11). Anscheinend sind Acker- und Grünlandstandorte stark schlagbezogen und weisen daher kleinräumig nutzungsbedingte Unterschiede (Düngung, Spritzmittel, Ernte, Erosion) auf. Für Landwirtschaftsflächen wurde daher nicht zwischen Teilräumen unterschieden. Statistische Kennwerte wurden für das gesamte Landesgebiet aufgestellt.

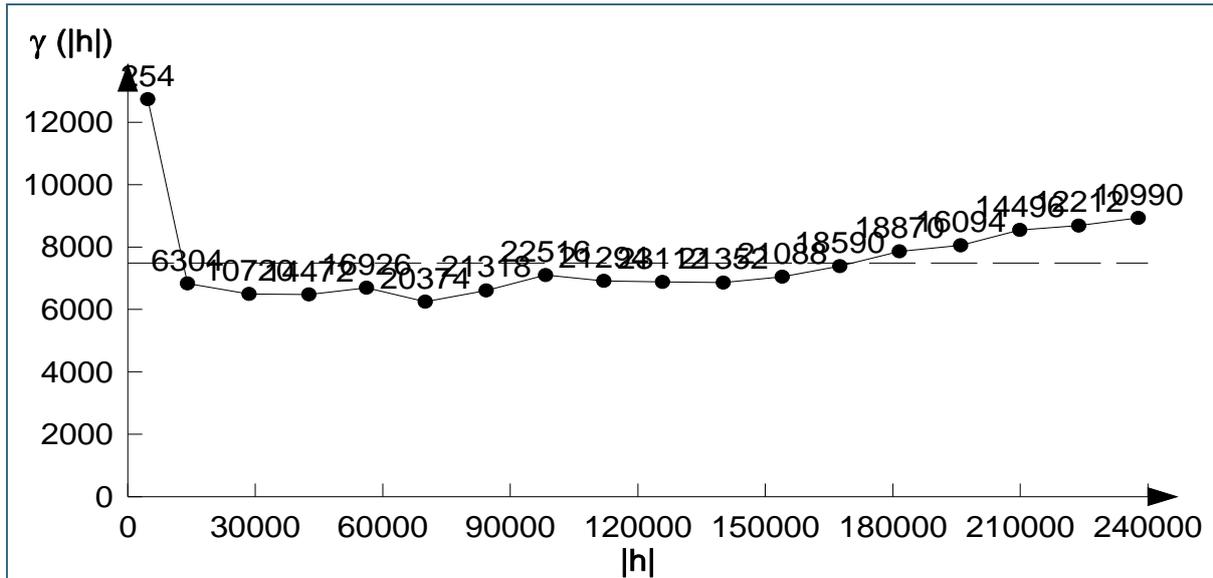


Abb. 11: Experimentelles Variogramm für EPA-PAH im Oberboden unter Landwirtschaft.

Für Waldstandorte zeigten die Variogramme, wie für EPA-PAH in Waldauflagen dargestellt ('unbounded variogram'; NIELSEN und WENDROTH, 2003) dagegen eine räumliche Struktur (Abbildung Abb. 12). Teilräume konnten ausgewiesen und getrennt statistisch beschrieben werden.

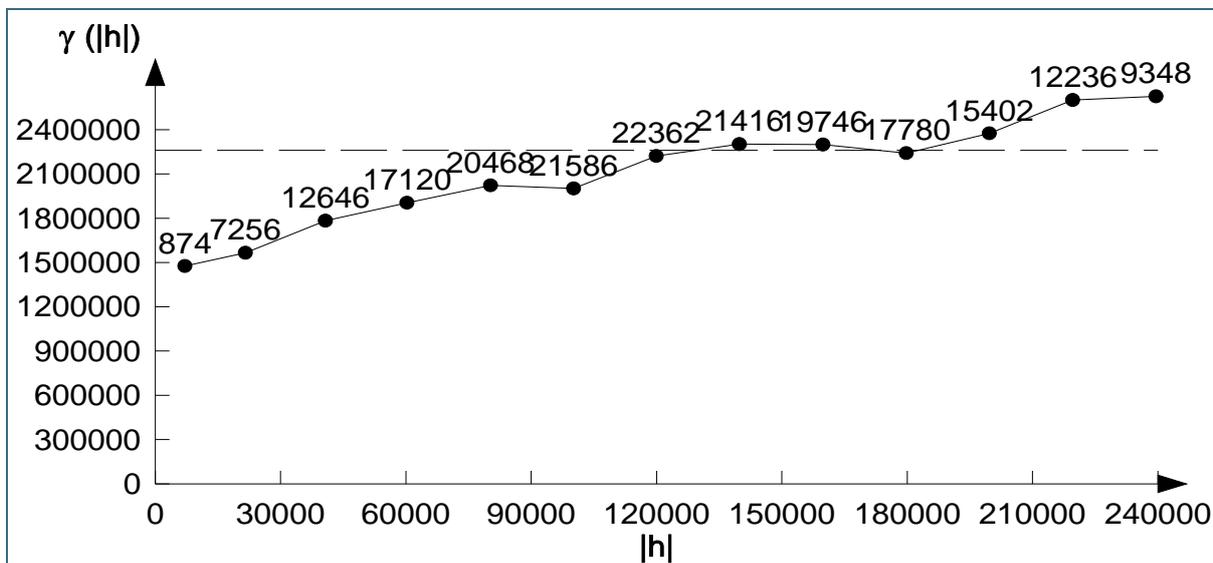


Abb. 12: Experimentelles Variogramm für EPA-PAH in Waldauflagen.

Ausgehend von 6 Teilräumen erfolgten ggf. Zusammenfassungen benachbarter, sich ähnelnder Teilräume. Nach räumlicher Zuordnung zu den gültigen Teilräumen können die statistischen Tabellenwerte für Vollzugsfragen verwendet werden (Tab. 5). Die Niveaus der Hintergrundwerte entsprachen in der Regel denen anderer Bundesländer (LABO, 2003).

Tab. 5: Statistische Kennwerte des EPA-PAH-Gehalts ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS) der Waldauflagen.

	Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4	Teilraum 5
Anzahl	42	61	98	129	135
Mittelwert	852	1245	1706	2158	3467
Standardabweichung	655	800	1045	1223	1477
Skewness (Schiefe)	1,4	1,3	1,3	0,6	-
Kurtosis (Wölbung)	1,9	3,2	2,7	-0,1	-
Minimum	69	103	174	118	599
Perzentil 25	292	646	1004	1214	2321
50	743	1172	1524	1984	3621
75	1071	1722	2259	2958	4502
90 (HGW)	1766	2222	2962	3937	5598
Maximum	3010	4450	5802	5883	6456

Die Anordnung der Teilräume unterschiedlicher Hintergrundwerte war für identische Horizonteinheiten bei verschiedenen organischen Schadstoffen unterschiedlich (Abb. 13).

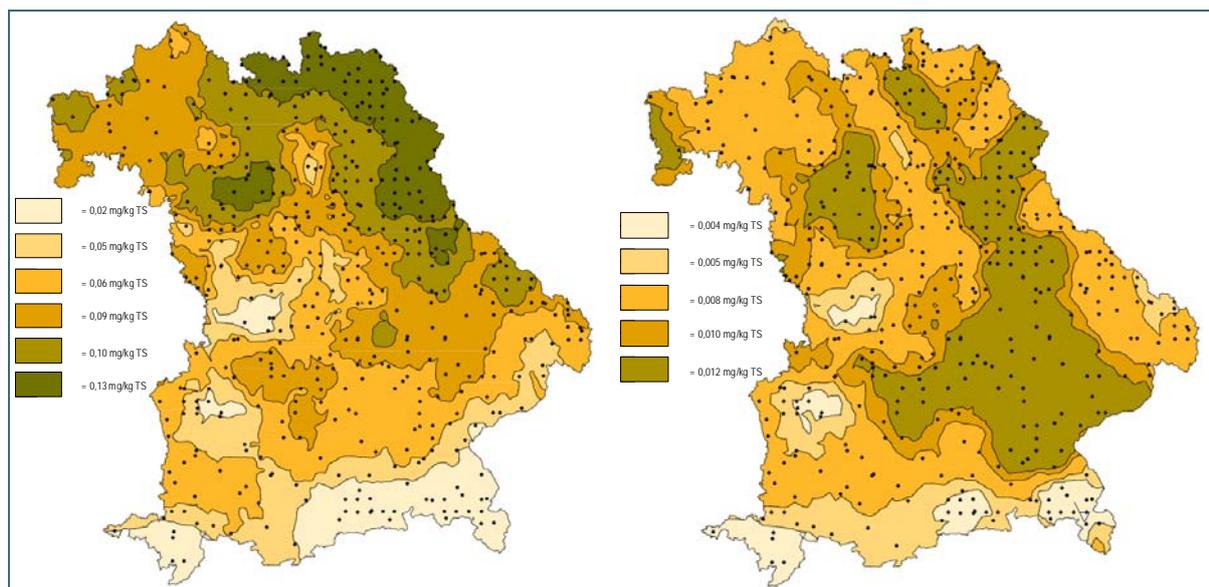


Abb. 13: Verteilung der Teilräume unterschiedlicher Hintergrundwerte in Waldauflagen für S-DDT (links) und Hechachlorbenzol (rechts) mit zugrunde liegenden Stützpunkten (schwarz).

Für verschiedene Horizonteinheiten zeigte sich ein z. T. spiegelbildliches Verhalten. So zeichnete sich z.B. der Bereich NO-Bayerns durch erhöhte EPA-PAH Hintergrundwerte in der Waldauflage, allerdings durch relativ niedrige Werte im Oberboden unter Forst aus (Abb. 14). Diese Verteilung ist als Ergebnis komplexer Einflussfaktoren wie Sorption, Vertikaltransport oder graduellen mikrobiellen Abbau zu interpretieren.

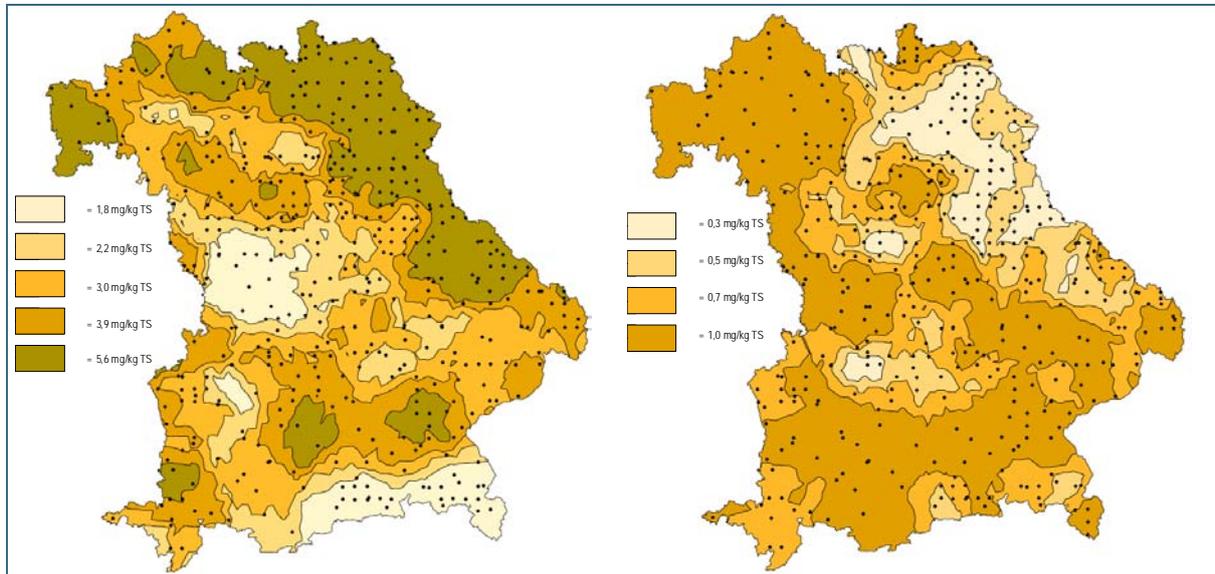


Abb. 14: Verteilung der Teilräume unterschiedlicher Hintergrundwerte für EPA-PAH in Waldauflagen (links) und Oberböden unter Forst (rechts) mit zugrunde liegenden Stützpunkten (schwarz).

4.4 Schlussfolgerungen

Der geostatistische Ansatz zur Abgrenzung von Teilräumen unterschiedlicher Hintergrundwerte liefert hinreichend genaue Ergebnisse und gibt im Gegensatz zum siedlungsdichteabhängigen Vorgehen offenbar die Verteilung organischer Bodenschadstoffe in Bayern genauer wieder. Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit der Teilgebietsausweisung z.B. durch Vorschaltung eines regressionsanalytischen Ansatzes (Basis: Niederschlag und Temperatur), wäre für den vorliegenden Datensatz zu prüfen.

4.5 Danksagung

Dieses Projekt wurde durch Mittel des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz sowie der Europäischen Union finanziert.

5 Literatur

BAYERISCHE LANDESÄMTER FÜR UMWELTSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT (2002): Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer. Slg LfW Nr. 3.8/5. München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1987): Bestimmung des Humusgehaltes im Boden. Unveröff. Hausvorschrift. München.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1999): Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – Bay-BodSchG). GVBl. S. 36.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). BGBl. I S. 1554.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz-BBodSchG). BGBl. I S. 502.

DEUTSCH, C.V. (2002): Geostatistical reservoir modeling. Oxford University Press. New York. Oxford. 376 S.

DEUTSCH, C.V., JOURNEL, A.G. (1998): GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide. New York. 369 S.

DIN 19730:06.97: (1997): Bodenbeschaffenheit - Extraktion von Spurenelementen mit Ammonium-nitratlösung. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN 38405-23:10.95 (1994): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Anionen (Gruppe D) - Teil 23: Bestimmung von Selen mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN 38406-29: 05.99 (1999) Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma (ICP-MS). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN 38414-4:10.84 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN EN 1483:07.07 (2007): Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Quecksilber - Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie; Deutsche Fassung EN 1483:2007. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN EN ISO 11885:04.98 (1998): Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN EN ISO/IEC 17025:08.05 (2005): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 10694:08.96 (1996): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 11272: 01.01 (2001): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohddichte. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 11466:06.97 (1997): Bodenbeschaffenheit - Extraktion in Königswasser löslicher Spurenelemente. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 13878:11.98 (1998): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse). Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 14154:12.05 (2005): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Chlorphenolen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektronen-Einfang-Detektion. Beuth-Verlag. Berlin.

DIN ISO 15178:02.01 (2001): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamtschwefels nach trockener Verbrennung. Beuth-Verlag. Berlin.

DOBLER, L., HINTERDING, A., MÜLLER, A., GERLACH, N., GABEL, F. (2003): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug. Abschlussbericht. Teil 3: Empfehlungen für die Anwendung statistischer und geostatistischer Methoden zur flächenbezogenen Auswertung von Daten über Stoffgehalte in Böden. 59 S.

E DIN ISO 11277:06.94 (1994): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden – Verfahren durch Sieben und Sedimentation nach Entfernen der löslichen Salze der organischen Substanz und der Carbonate. Beuth-Verlag. Berlin.

HINTERDING, A., MÜLLER, A., GERLACH, N., GABEL, F. (2003): Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug. Abschlussbericht. Teil 1: Grundlagen. 149 S.

ISO (2001): Soil Quality-Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method and mass spectrometric detection (GC/MS). ISO/Working Draft 18287 of ISO/TC 190/SC 3/WG 7 N 24.

LABO (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz) (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StAA4-Sitzung. 29./30.01.2003. 58 S. und Anhang. 111 S.

NIELSEN, D.R., WENDROTH, O. (2003): Spatial and Temporal Statistics: Sampling Field Soils and their Vegetation. Catena Verlag, Reiskirchen, 398 S.

PANNATIER, Y. (1998): VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. New York. 91 S.

VDI (2006): VDI-Richtlinie 4301, Blatt 2: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen: Messen von Pentachlorphenol (PCP) und g-Hexachlorcyclohexan (Lindan): GC/MS-Verfahren.

VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1996): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Methodenbuch VII Umweltanalytik. VDLUFA-Verlag. Speyer.

Geogene Bleivorkommen in triassischen Sedimenten bei Altenstadt a. d. Waldnaab und Weiden

Modellgebiet im Rahmen des Projekts 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'

Manuela Hornung, Wasserwirtschaftsamt Weiden

Im Rahmen des Projekts 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze' wurde das ehemalige Geologische Landesamt, jetzt Landesamt für Umwelt, u. a. mit der Erfassung von Gebieten mit geogen bedingt erhöhten Hintergrundgehalten beauftragt. Für die Untersuchungen wurden Modellgebiete mit unterschiedlichen geogenen Belastungen und verschiedenen Fragestellungen ausgewählt. Dort wurden Böden detaillierter untersucht und anhand der Analyseergebnisse modellhaft Hintergrundgehalte bzw. -werte kartografisch dargestellt.

1 Motivation zur Auswahl des Modellgebiets Altenstadt a. d. Waldnaab/Weiden

Im Raum Weiden und Altenstadt a. d. Waldnaab (nördliche Oberpfalz) ist das Vorkommen geogener Bleivererzungen in Form von Cerussit $PbCO_3$ und untergeordnet Bleiglanz PbS (KLEMM, D. & V. SCHWARZENBERG, 1977) in den triassischen Sedimentgesteinen (Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper) der sogenannten Weidener Bucht und damit verbunden das Auftreten von erhöhten Bleigehalten im Boden und Grundwasser bekannt (WWA WEIDEN, 2003).

Bei der Bearbeitung von Altlasten ergibt sich gerade dadurch des Öfteren die Problematik einer Unterscheidung des geogenen Bleis von einer anthropogenen Bleikomponente. Die Höhe des geogen bedingten Hintergrundwertes bzw. der Hintergrundgehalte von Blei im Boden, die räumliche Verteilung der Hintergrundgehalte sowie die Substratbindung sind nicht geklärte Fragestellungen. Zudem zeigen sich in vielen Grundwassermessstellen im Raum Weiden und Altenstadt a. d. Waldnaab erhöhte Bleigehalte. Auch in einigen Brunnen der Wasserversorgung der Stadt Weiden, die in den triassischen Sedimenten niedergebracht sind, treten erhöhte Gehalte auf.

Des Weiteren war Altenstadt a. d. Waldnaab von etwa 1925 bis 1995 ein Standort der Bleikristallproduktion. Daher kann mit einer zusätzlichen anthropogenen Bleibelastungskomponente gerechnet werden.

2 Überblick über das Bearbeitungsgebiet

Räumliche Lage

Das Modellgebiet liegt in Nordostbayern, in der nördlichen Oberpfalz bei Altenstadt a. d. Waldnaab und der Stadt Weiden. Als Bearbeitungsgebiet wurde das ermittelte Wassereinzugsgebiet der Wasserversorgung (WV) der Stadt Weiden und ein abgegrenzter Bereich in der Waldnaabaue ausgewählt (s. Abb. 1). Dabei fand die Lage der ehemaligen Bleikristallproduktionsstätten Berücksichtigung. Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt etwa 34 km^2 .

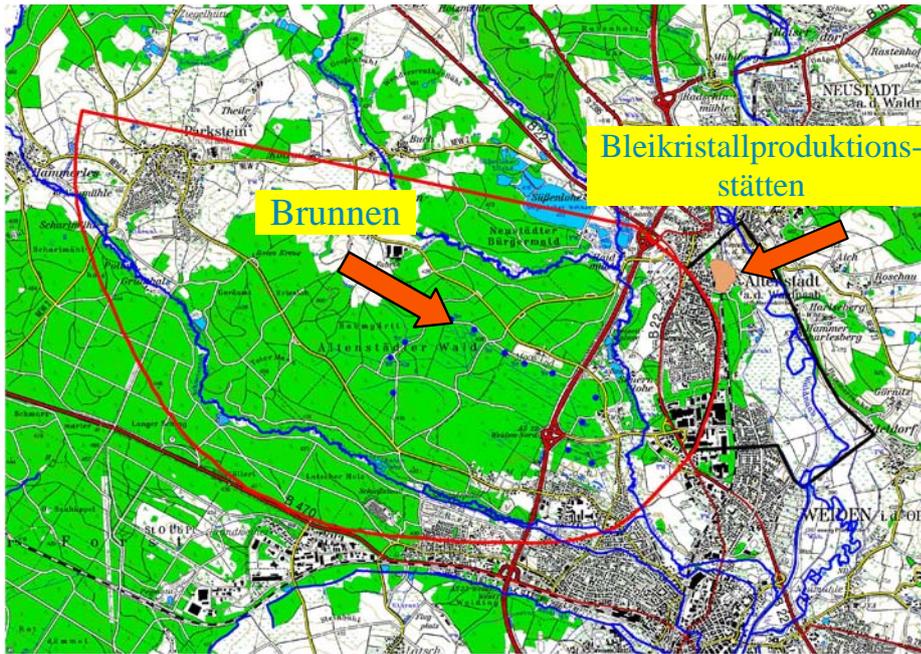


Abb. 1: Räumliche Lage und Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes bestehend aus ermitteltem Wassereinzugsgebiet der Stadt Weiden und einem Bereich in der Waldnaabaue

Geologie

Das Untersuchungsgebiet liegt am südöstlichen Ende des fränkisch-oberpfälzischen Bruchschollengebietes. Von Buntsandstein bis Keuper war das Gebiet am Rande des Sedimentationsbeckens gelegen, welches aus dem Abtragungsschutt des Vindelizischen Gebirges aufgebaut wird (SCHMID, 1981).

Geologisch definiert sich das Untersuchungsgebietes von Ost nach West wie folgt (s. Abb. 2): In der Waldnaabaue sind Flussablagerungen die prägende Einheit (holozäne Talfüllung). Daran anschließend treten quartäre Terrassenablagerungen aus Sanden, Kiesen und Schottern in unterschiedlicher Mächtigkeit auf (wenige Meter bis z. T. 10 m). Dem folgen die triassischen Sedimentgesteine des Buntsandsteins, Muschelkalks und Keupers. Diese werden jedoch von einer 3 - 7 dm mächtigen quartären polygenetischen Deckschicht aus unterschiedlichen Anteilen von triassischem Umlagerungsmaterial, Flugsand und Terrassenablagerungen überdeckt. Die Deckschicht ist sandiger Ausprägung mit z. T. großen Kieselsteinen und hohem Skelettgehalt.

Eine eindeutige Trennung der Ablagerungen des Keupers, Muschelkalks sowie Buntsandsteins war im Gelände nicht möglich, da die Ablagerungen aufgrund der Randlage zum Liefergebiet des kristallinen Grundgebirges allesamt überwiegend sandig ausgeprägt sind. Beschrieben wurden bei der Aufnahme daher allgemein triassische Sedimente.

In einer großflächigen Muldenlage befindet sich zudem ein heute größtenteils entwässertes Moor. Im Nordwesten werden kreidezeitliche Ablagerungen tlw. lößlehmbeeinflusst berührt.

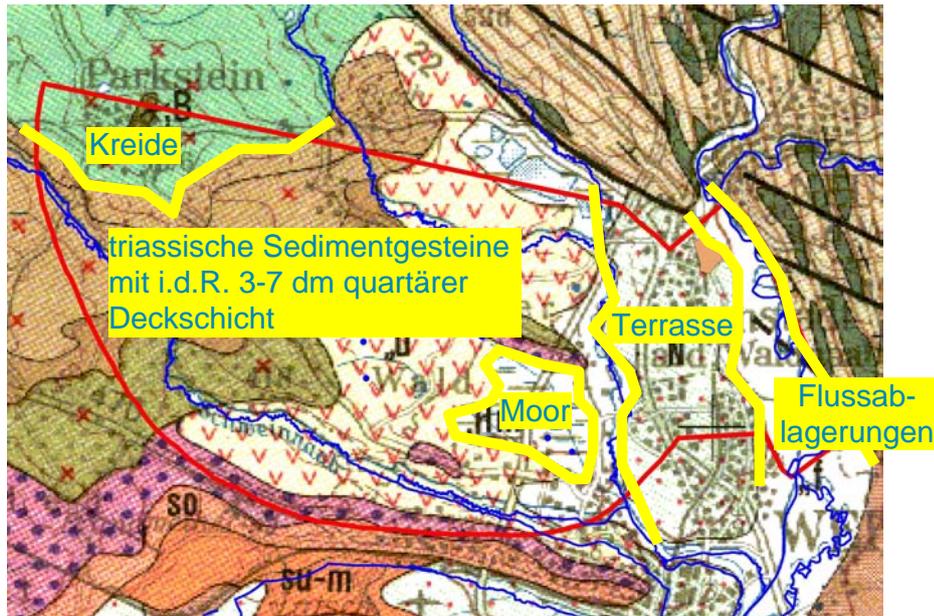


Abb. 2: Vereinfachte Geologische Übersicht mit Abgrenzung geologischer Einheiten

3 Standortauswahl und Probenahme

Standortauswahl

Aufgrund fehlenden Wissens über die räumliche Verteilung der Bleivererzung fand eine systematische Herangehensweise zur Standortauswahl statt.

Über das definierte Bearbeitungsgebiet wurde ein gleichmäßiges Raster mit 1 km Abstand der idealen Rasterpunkte gelegt. Im Siedlungsbereichen bei Altenstadt a. d. Waldnaab musste das Raster auf 500 m Abstand verdichtet werden, um einen möglichen atmosphärischen Bleieintrag durch die Bleikristallproduktionsstätten v. a. in der organischen Auflage (Humusaufgabe) erfassen zu können. Beschränkt wurde sich auf Forststandorte, nur im Siedlungsbereich fand auch eine Beprobung von Grünland bzw. Ackerstandorten statt. Die tatsächlichen Standorte (s. Abb. 3) wurden expertengestützt ausgewählt. Als Grundlage diente hierfür die Übersichtsbodenkarte des Bayerischen Landesamts für Umwelt.

Probenahme

31 Standorte wurden punktrepräsentativ-horizontbezogen bis 1 m Tiefe beprobt. Zusätzlich wurden 7 Rammkernsondierungen bis maximal 4,80 m niedergebracht, zumeist als Fortsetzung bereits beprobter Standorte. Insgesamt wurden 218 Proben im Feinboden (Fraktion < 2 mm) auf den Bleigehalt im Königswasserextrakt untersucht.

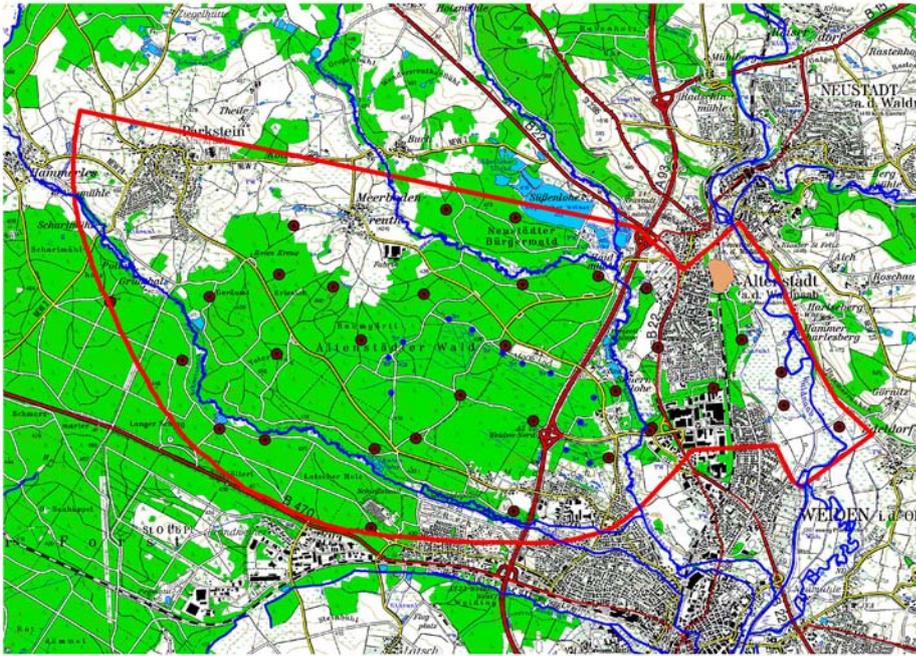


Abb. 3: Lage der Be-
probungsstandorte

4 Weg zu einer Übersichtskarte über die Hintergrundgehalte und -werte für Blei in der Humusauflage, im Oberboden, Unterboden und Untergrund

4.1 Datenaufbereitung

Die Daten wurden nach den Vorgaben der LABO (2003) für die Ableitung von Hintergrundwerten aufbereitet. Eine Differenzierung fand nach Nutzungsart (Forst/Acker, Grünland), den vorkommenden Ausgangssubstraten (Humusauflage, polygenetische Deckschicht, triassische Sedimente, quartäre Terrassenablagerungen, fluviatile Auensedimente, Torf, lößlehmbeeinflusste Deckschicht über Kreidesediment und Kreidesediment) sowie den Horizontgruppen statt. Die Horizonte und damit die Analytikergebnisse sind den 4 Horizontgruppen Humusauflage, Oberboden, Unterboden und Untergrund zugeordnet worden, wobei mehrere Konzentrationsangaben verschiedener Horizonte für die jeweilige Horizontgruppe mächtigkeitsgewichtet aggregiert wurden.

4.2 Flächenbezogene Datenanalyse und flächenhafte Darstellung von Bleigehalten mittels Geostatistik

Es erfolgte eine Auswertung für die Humusauflage und die Horizontgruppe Untergrund für das Ausgangssubstrat triassische Sedimente mittels Geostatistik. In der Humusauflage zeigte sich eine räumliche Abhängigkeit. Unmittelbar um die Bleikristallproduktionsstätten waren höhere Bleigehalten in der Waldauflage zu finden als weiter westlich, dadurch ist eine gewisse Beeinflussung erkennbar. Dagegen ergab die Auswertung im Untergrund keine räumliche Abhängigkeit. Der geogene Blei-gehalt im Untergrund ist räumlich ungerichtet.

4.3 Horizontbezogene Datenanalyse von Bleigehalten mittels deskriptiver Statistik in Anlehnung an die LABO und kartografische Darstellung

Aufgrund des teilweise geringen Stichprobenumfanges je Ausgangssubstrat, Nutzung und Horizontgruppe wurde abweichend von den LABO-Vorgaben eine regionale Hintergrundwerteberechnung ab einen Stichprobenumfang $n \geq 10$ durchgeführt. Für alle anderen Datenkollektive werden die Stoffgehalte als Spanne zwischen Minimum und Maximum angegeben und repräsentieren damit den Bereich der analysierten Hintergrundgehalte.

In untenstehender Tabelle sind die regionalen Hintergrundwerte bzw. Wertespannen der gemessenen Hintergrundgehalte für Blei dargestellt.

Tab.: Bleikonzentrationen in Abhängigkeit von Ausgangssubstrat, Nutzung und Bodenhorizontgruppe in mg/kg TS Boden (TS: Trockensubstanz getrockneter Boden) ohne und mit Betrachtung von Rammkernsondierungen

Ausgangssubstrat und meist vorherrschende Bodenartenhauptgruppe nach KA 5*	Nutzung	Horizontgruppe	n	arithmetischer Mittelwert	Standardabweichung	Min	Perzentil 25	Median (Perzentil 50)	Perzentil 75	Perzentil 90 (HGW)	Max	
Humusauflage	/	Forst	Auflage	26	142	46,4	35	110	140	170	213	240
Polygenetische Deckschicht aus verschiedenen Substraten	s, l	Forst	Oberboden	14	52,1	23,1	28	32	47	66,5	92,5	110
			Unterboden	16	110	74,9	51,8	62,7	88,2	117	278	324
			Untergrund	11	105	103	17	43	66,4	106	341	370
triassische Sedimente	s, l	Forst	Oberboden	5	39,5	24,3	19	/	27	/	/	70
			Unterboden	7	66	46,7	23,6	/	36	/	/	134
			Untergrund	17	99,4	85,1	13	29	70	174	246	270
			Untergrund mit RKS	20	359	1013	13	27,0	71,5	234	708	4600
quartäre Terrassenablagerungen	s, l	Forst	Oberboden	5	45	28,3	17	/	33	/	/	89
			Unterboden	5	42,1	37,7	17	/	19	/	/	103
			Untergrund	4	49,4	50,6	12	/	32,7	/	/	120
			Untergrund mit RKS	7	332	755	10,8	/	51,3	/	/	2041
fluviatile Auensedimente (Waldnaab)	u, l	Grünland	Oberboden	3	387	5,8	380	/	390	/	/	390
			Unterboden	3	245	139	89,5	/	285	/	/	359
Torf	/	Forst	Oberboden	1	/	/	150	/	/	/	/	150
			Unterboden	1	/	/	160	/	/	/	/	160
löslehmbeeinflusste Deckschicht über Kreidesediment	u, l	Grünland	Oberboden	1	/	/	41	/	/	/	/	41
			Unterboden	1	/	/	36	/	/	/	/	36
Kreidesediment	l	Grünland	Unterboden	1	/	/	27,7	/	/	/	27,7	

1 Ackerstandort (Nr. 26), Untergrund wird der Nutzung Forst zugeteilt, Oberboden bleibt außer Betracht
 1 Brachstandort (Nr. 33), Untergrund wird der Nutzung Forst zugeteilt
 * Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage; Schweizerbart Stuttgart

Die Hintergrundgehalte des Substrats polygenetische Deckschicht liegen im Ober- und Unterboden sowie im Untergrund ohne Betrachtung der Rammkernsondierungen geringfügig höher als beim Substrat triassische Sedimente. Bei letzterem wären jedoch aufgrund der geogenen Bleivererzung i. d. R. allgemein höhere Werte zu erwarten. Diese Diskrepanz lässt sich durch die inhomogene Verteilung der Bleivererzung erklären. Somit hängt der Bleigehalt stark von der Vererzung am Ort der Probenahme ab. Des Weiteren ist der Bleigehalt in der Deckschicht vom Anteil des Triasmaterials und dessen Bleigehalt abhängig.

Die kartografische Darstellung der Hintergrundwerte bzw. Spannen der Hintergrundgehalte für Blei erfolgte auf Grundlage von Substraten und der Zuweisung der ermittelten Hintergrundwerte bzw. -gehalte zu Flächen. Die im Bearbeitungsgebiet vorkommenden Legendeneinheiten der Übersichtsbodenkarte des Bayerischen Landesamts für Umwelt wurden unter Berücksichtigung der Substrate aggregiert und neue Auswertungseinheiten definiert. Diese repräsentieren Flächen gleicher Substrate. Damit können die Hintergrundwerte bzw. die Hintergrundgehalte Flächen zugewiesen werden.

Es entstanden drei Karten, je eine für den Oberboden, Unterboden und Untergrund. In Abb. 5 ist beispielhaft die Darstellung der regionalen Hintergrundwerte und -gehalte des Unterbodens abgebildet.

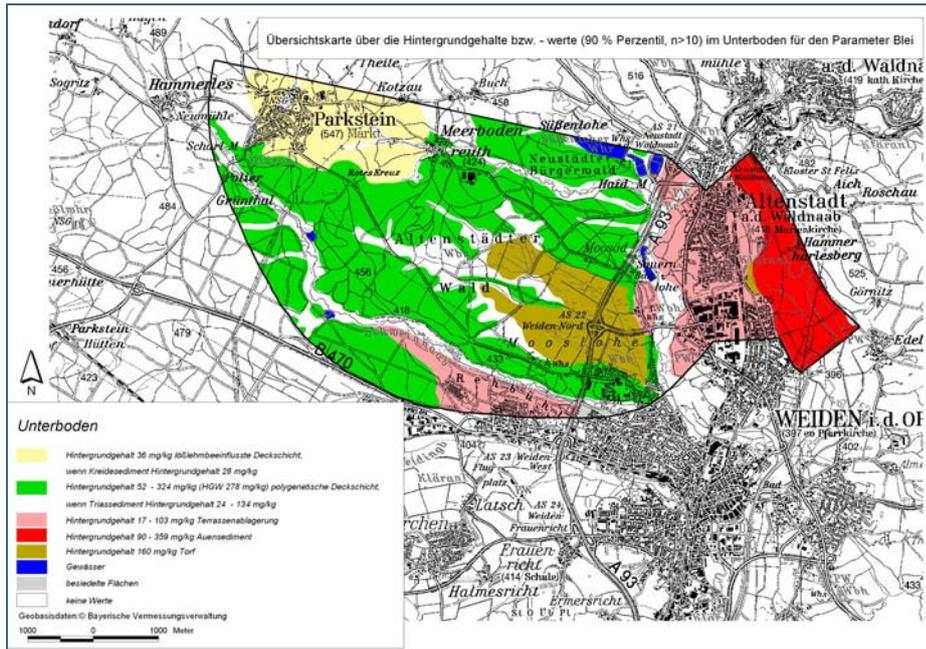


Abb. 5: Flächenhafte Darstellung der Hintergrundgehalte bzw. -werte beispielhaft im Unterboden

5 Bleiisotopensignaturen

An ausgewählten Bodenproben erfolgte eine Bleiisotopenanalytik zur Bestimmung der Bleiisotopensignaturen. Natürlich vorkommendes Blei ist ein Gemisch der vier stabilen Isotope Pb-204, Pb-206, Pb-207 und Pb-208. Hiervon sind die Isotope Pb-206, Pb-207 und Pb-208 radiogenen Ursprungs, d.h. sie sind durch radioaktiven Zerfall der Elemente der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen entstanden. Somit kann natürliches Blei durch regional verschiedene Mengen an Uran und Thorium in Gesteinen sowie aufgrund unterschiedlichen geologischen Alters ein deutlich unterschiedliches, spezifisches Häufigkeitsverhältnis der Blei-Isotope aufweisen. Diese für ein bestimmtes Vorkommen typische Bleiisotopensignatur bleibt auch während stattfindender natürlicher Umsetzungsprozesse (z. B. Gesteinsverwitterung und Transportprozesse) erhalten. Daher weist das in einer bestimmten Region natürlich vorkommende Blei eine spezifische Isotopensignatur auf. Dagegen kann Blei, das aus anderen Quellen bzw. Lagerstätten stammt und durch anthropogene Aktivitäten (Industrieprozesse, Kraftfahrzeugemissionen) verfrachtet wurde, eine Isotopenzusammensetzung aufweisen, die von der regionalgeogenen verschieden ist. Nachstehende Abbildung 6 zeigt beispielhaft die an dem Standort A in den einzelnen Horizonten gemessenen Bleiisotopensignaturen aus dem Totalaufschluss. Bei Standort A handelt es sich um ein natürliches, zweischichtiges Profil mit einer polygenetischen Deckschicht (bis 58 cm) über triassischem Sedimentgestein.

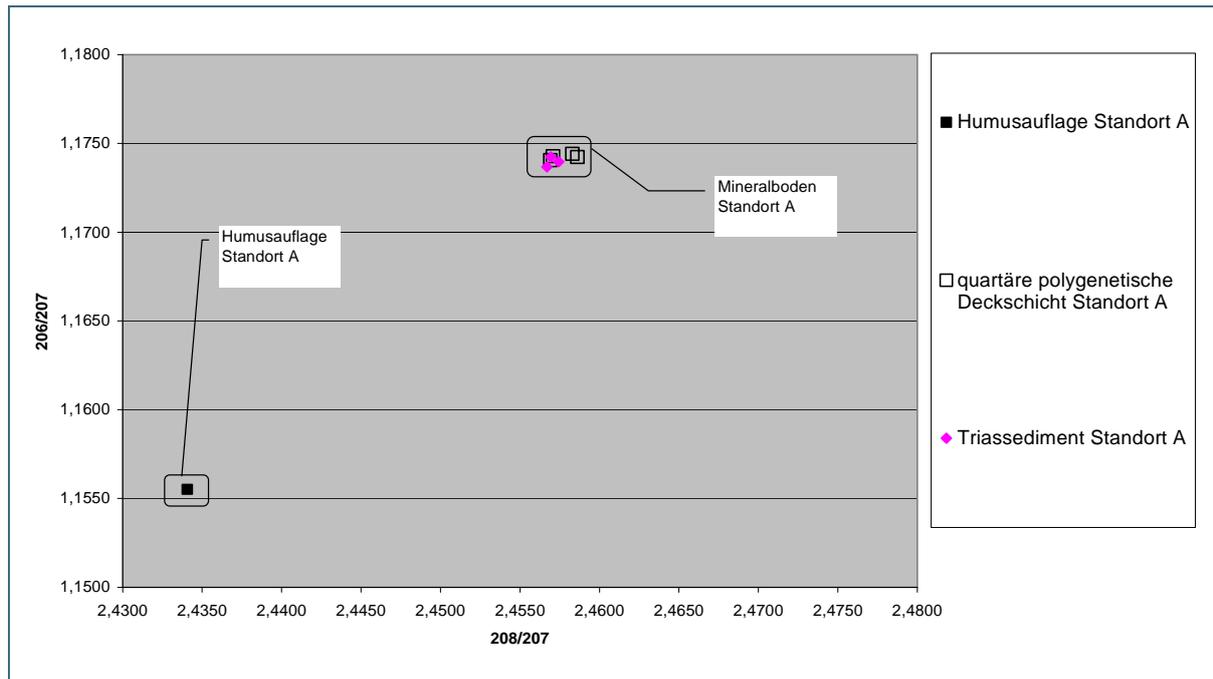


Abb. 6: Bleiisotopenverhältnisse Pb206/Pb207 gegen Pb208/Pb207 des Standorts A aus Totalaufschluss

Deutlich erkennbar ist der Unterschied der Bleiisotopensignatur in der Humusauflage, Zeiger für ubiquitären Stoffeintrag, zu den Signaturen im Mineralboden. Dahingegen unterscheiden sich die Isotopenverhältnisse der Deckschicht und des Triassediment nicht wesentlich. Die Deckschicht scheint somit überwiegend aus umgelagertem Triassediment zu bestehen.

6 Ausblick

Das Bearbeitungsgebiet kennzeichnet nur einen kleinen Bereich der geogenen Bleibelastung triassischer Sedimentgesteine. Diese treten in der nördlichen Oberpfalz großflächiger zu Tage und sind bereichsweise mit erhöhten Bleigehalten dokumentiert. Eine Kennzeichnung des Gebietes, in dem mit potenziell erhöhten geogenen Bleigehalten über das Bearbeitungsgebiet hinaus zu rechnen ist, sollte auf Grundlage der Geologischen Karte und der Vor-Ort-Kenntnisse vorgenommen werden. Zudem könnte eine Verifizierung durch Probenahmen erfolgen.

7 Literatur

GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE 1: 200 000 CC 6334 Bayreuth (1981). – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland [Hrsg.]: Hannover.

GEOLOGISCHE KARTE DES KTB-UMFELDES OBERPFALZ 1: 50 000 (1991). – Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung und Bayerisches Geologisches Landesamt [Hrsg.]: Hannover.

GEOLOGISCHE KARTE 1: 25 000 Blatt Nr. 6239 Neustadt a. d. Waldnaab (1995). – Bayerisches Geologisches Landesamt [Hrsg.]: München.

GUDDEN, H. (1975): Zur Bleierz-Führung in Trias-Sedimenten der nördlichen Oberpfalz. – *Geologica Bavarica*, 74: S. 33-55; München.

HYDROISOTOP GMBH (2004): Bestimmung der Blei-Isotopenverhältnisse an drei Bodenproben. – 6 S.; Schweitenkirchen.

KLEMM, D. & V. SCHWARZENBERG, T. (1977): Die Bleierzvorkommen am Rande des Oberpfälzer Waldes. – Erzmetall, Bd. 30, H. 11: S. 531- 536.

LABO (BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2003): – Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StäA4-Sitzung 29./30.01.2003: 58 S.

SCHMID, H. (1981): Zur Bleiführung in der Mittleren Trias der Oberpfalz – Ergebnisse neuerer Bohrungen. – Erzmetall, Bd. 34, Nr. 12: S. 652 – 658.

V. SCHWARZENBERG, T. (1975): Lagerstättenkundliche Untersuchungen an sedimentären Bleivererzungen der Oberpfalz. – Diss. Universität München: 54 S.

WWA WEIDEN (2003): Protokolle (20.5.–10.6.2003) der Stichtagsmessung mit Grundwasseruntersuchungsergebnissen im Raum Altenstadt an der Waldnaab.

Lokal erhöhte Cr- und Ni-Gehalte am Beispiel des Serpentinits bei Schwarzenbach / Saale

Klaus Pfadenhauer, Wasserwirtschaftsamt Kronach

Vorwort

Im Projektantrag zum Vorhaben 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze' wurde das Bayerische Geologische Landesamt, jetzt Bayerisches Landesamt für Umwelt, u. a. mit der Erfassung von Gebieten mit geogen bedingt erhöhten Hintergrundgehalten beauftragt. Dies sollte antragsgemäß in enger Kooperation mit der Wasserwirtschaft umgesetzt werden. Bei Schwarzenbach a. d. sächs. Saale liegt ein Sonderprojekt, in dem im Detailmaßstab erhöhte Hintergrundgehalte untersucht wurden.

1 Zusammenfassung

Das Gestein Serpentin ist bekannt dafür, hohe „natürliche“ Gehalte an Chrom und Nickel zu besitzen. Ziel des Projektes war es festzustellen, ob die Böden aus diesem Gestein entsprechend hohe Werte an Chrom und Nickel aufweisen und ein definiertes Gebiet exemplarisch in Anlehnung an aktuelle Bodenschutzgesetze, LABO- und DIN-Vorgaben genauer zu untersuchen.

Dabei wurden auf einer Fläche von 4,4 km² an 34 Standorten horizontbezogen 162 Bodenproben entnommen. Das entspricht einem beprobten Standort je 13 ha oder einer quadratischen Fläche von ca. 360 m Kantenlänge. Eine horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe wurde erarbeitet und die Gebiete, in denen erhöhte Hintergrundgehalte auftreten, im Detailmaßstab gekennzeichnet.

Die Analysenergebnisse zeigen deutliche Grenzwertüberschreitungen. Bei Feststoffanalysen betragen die Konzentrationen bei Nickel und Chrom über 2000 mg/kg (Königswasseraufschluss). Während bei Nickel die Werte vom Oberboden zum Untergrund hin zunehmen, bleiben sie bei Chrom über die verschiedenen Bodenhorizonte hinweg auf ähnlich hohem Niveau.

Im Untersuchungsgebiet werden die **Vorsorgewerte** für alle Horizonte unabhängig von der Tiefenstufe für **Nickel** durchweg überschritten (100 %) und für **Chrom** weit überwiegend (94 %). Die **Prüfwerte** wurden bei **Nickel** sehr häufig überschritten (über 50 %) und bei **Chrom** in über 30 % der Fälle.

Für die räumliche Abgrenzung der stofflichen Belastungen wurden regionale „Hintergrundwerteeinheiten“ gebildet. Dabei wurden Substrate mit ähnlich hohen Hintergrundgehalten aggregiert, um die jeweiligen Datenkollektive zu vergrößern und damit die statistische Aussagefähigkeit zu verbessern. Die entstandenen Karten zeigen getrennt nach Ober-, Unterboden und Untergrund durchaus ein anderes Bild der stofflichen Belastung. Die teils mächtigen Fließerden mit Serpentinanteil sind deutlich zu erkennen. Es zeigt sich auch, dass es schwierig ist, nur anhand von vorhandenen Karten Aussagen für einzelne Grundstücke zu machen. Eine Detailkartierung mit Probenahme und Analyse ist unabdingbar.

Eluatuntersuchungen deuten auf eine Eluierbarkeit von Nickel hin. Hier werden Werte bis über 200 µg/l gefunden. Auch bei Chrom sind deutliche Erhöhungen festzustellen (bis über 100 µg/l, aber in geringerer Anzahl). Die Untersuchungen an Oberflächengewässern, sowie Brunnen und Quellen bestätigen eine „natürliche“, geogen bedingte Eluierbarkeit von Nickel. Das betroffene Gebiet ist jedoch eng

an das räumliche Auftreten von Serpentinit(misch)substraten geknüpft.

Nach den Maßstäben der Altlastenbearbeitung wären Serpentinitgebiete eventuell als „sanierungsbedürftig“ anzusehen. Eine Kennzeichnung und weitere Beobachtung solcher Gebiete auch in Hinblick auf sich ändernde Umweltbedingungen sind deshalb sehr wichtig.

2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Auswahl des Untersuchungsgebietes fiel auf eine Fläche von 4,4 km². Entscheidend für den groben Zuschnitt waren die geologischen und topographischen Gegebenheiten sowie der zu erwartende Zeit- und Finanzaufwand. Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen den Orten Schwarzenbach/Saale, Oberkotzau, Wurlitz und Quellenreuth. In diesem Gebiet verlaufen zwei dokumentierte Serpentinzüge. Bei der Abgrenzung wurde berücksichtigt, wo Böden mit potentieller Beimischung von Serpentin-Material zu finden sein könnten, inklusive der tiefer gelegenen Talauenbereiche. Ein Puffer hin zu den „unbelasteten“ Gebieten wurde ebenso berücksichtigt.

Der Metamorphit Serpentin hat seinen Verbreitungsschwerpunkt in Bayern in den Randbereichen der Münchberger Gneismasse, in der Naab-Wondreber Senke bei Erbdorf und vereinzelt im Gebiet östlich von Weiden und in Südbayern. Im Untersuchungsgebiet stoßen die Metamorphite der Münchberger Hochfläche auf die Tonschiefer und Phyllite des Bayerischen Vogtlandes. Die Zone der Serpentinzüge gehört zur sogenannten metamorphen Umrahmung der Münchberger Gneismasse und wird bereits dem Bayerischen Vogtland zugerechnet. Die Serpentinzüge sind vergesellschaftet vor allem mit Phylliten und Prasiniten. Im Westen grenzen die Randamphibolite die Prasinit-Phyllit-Serie von den Metamorphiten der Münchberger Hochfläche ab. Oberflächennah sind sie durch zum Teil mächtige Fließerden überformt. Böden aus Serpentin sind in der Bodenkarte als eigene Einheiten ausgetrennt worden. Es wurden Ranker, Braunerden und Pseudogleye aus Serpentin erfasst. Häufige Einheiten sind daneben Braunerden aus Phyllit/Prasinit, Braunerden aus Ton-/Kieselschiefer, Braunerden aus Gneis/ Amphibolit, Pseudogleye aus nicht definierten Substraten, tiefgründige Braunerden aus Fließerden, Gleye und Auengleye.

3 Standortauswahl und Probenahme

Die Auswahl der Standorte erfolgte nach der typologischen Herangehensweise (nach DIN ISO 19258, Pkt.5.4.1.1.1 bzw. LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe; Punkt 3.1.1.1). In der vorhandenen BK25 fanden sich zehn relevante Bodeneinheiten. Es wurde versucht zwei bis vier Standorte pro Bodeneinheit zu „treffen“. **Wegen des geringen Stichprobenumfangs war bereits bei der Konzeption klar, dass keine nach LABO oder DIN ISO 19258:2006-05 statistisch abgesicherten Hintergrundwerte erreichbar sein würden.** Neben den Schürfen, die entweder per Hand oder mit Minibagger angelegt wurden, wurden auch Rammkernsondierungen mit dem benzingetriebenen COBRA-Gerät niedergebracht. Die max. Bohrtiefe betrug 6 m.

4 Ergebnisse und bewertende Diskussion

4.1 Hintergrundgehalte der regionalen Substrate

Um die Belastung der Böden mit Schwermetallen aus Substratanteilen von Serpentin abschätzen zu können, ist die Kenntnis der Hintergrundwerte der umliegenden „unbelasteten“ Böden von entscheidender Bedeutung. Als Datenquellen in Bayern boten sich zum einen die Werte des Fachberichtes 16 (FB16), „Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns“, und zum anderen bereits

vorhandene Zwischenergebnisse (Stand März 2007) des GRABEN-Projekts an. Daneben wurden im Zuge des Sonderprojekts auch „unbelastete“ Böden des Umfeldes beprobt. Auffallend sind die durchweg höheren Werte für Cr und Ni auch bei den nicht serpentinit-bürtigen Böden, was aber durchaus regional bedingt sein kann. Für die weitere Auswertung erschien es am sinnvollsten die regionalen Daten als Referenzwerte zu benutzen. Mit diesen konnte dann auf den Serpentinanteil bei Mischsubstraten zurückgerechnet werden. Während die Cr-Werte in etwa konstant bleiben (im Mittel bei ca. 1350 mg/kg), steigt der Ni-Gehalt mit der Tiefe deutlich an (von ca. 600 mg/kg in den Oberböden bis ca. 1900 mg/kg im Untergrund).

4.2 Grenzwertüberschreitungen

Mineralboden	Nickel	Chrom	Zink	Vanadium	Arsen	Cobalt	Kupfer	Blei	Quecksilber	Cadmium	Antimon
Gesamtanzahl Proben (ohne Auflagehorizonte)	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143
Anzahl Grenzwert- überschreitung	143	135	130				66	13	6	3	
	73	43								1	
	28	12		62	43	14	14	3			2
					1						
Prozentanteil	100,0	94,4	90,9				46,2	9,1	4,2	2,1	
	51,0	30,1								0,7	
	19,6	8,4		43,4	30,1	9,8	9,8	2,1			1,4
					0,7						

	Überschreiten Vorsorgewert BBodSchV, 12.07.99
	Überschreiten Prüfwert BBodSchV, 12.07.99 (Wohngebiete)
	Überschreiten HW1 LfW Merkblatt Nr.3.8/1, 31.10.01
	Überschreiten Prüfwert BBodSchV, 12.07.99 und Überschreiten HW2 LfW Merkblatt Nr.3.8/1, 31.10.01
	Überschreiten HW2 LfW Merkblatt Nr.3.8/1, 31.10.01

Bei den Vorsorgewerten ist zu beachten, dass diese abhängig von der Bodenart und zum Teil vom pH-Wert sind. Bei den Maßnahme- und Prüfwerten werden hier beispielhaft die Werte für den Pfad Boden-Mensch für Wohngebiete als Kenngröße benutzt.

4.2.1 Vorsorgewerte (BBodSchV)

Im Untersuchungsgebiet werden die Vorsorgewerte für alle Horizonte unabhängig von der Tiefenstufe für **Nickel** durchweg überschritten (100 %) und für **Chrom** weit überwiegend (94 %). Bei Cadmium war die untere Bestimmungsgrenze bei 1,0 mg/kg. Da der Vorsorgewert bei 0,4 mg/kg liegt, konnten vermutlich nicht alle Überschreitungen des Vorsorgewertes erfasst werden.

4.2.2 Prüf- und Maßnahmewerte (BBodSchV), Hilfwerte LfW Merkblatt 3.8/1

Vor allem bei **Nickel** wurden sehr häufig die Prüfwerte überschritten (über 50 %). Davon knapp 20% mit Überschreitung des Hilfwertes 2 (HW2) des LfW Merkblatts Nr. 3.8/1 vom 31.01.2001. In dieser Größenordnung ist bei altlastenrelevanten Standorten eine Sanierung die Regel. Bei **Chrom** wurden in über 30 % der Fälle Prüfwertüberschreitungen festgestellt, davon 8,4 % mit Überschreitung des HW2. Auffällig waren daneben noch **Vanadium** (43 %) und **Arsen** (30 %) mit häufigen Überschreitungen von HW1. Prüfwerte sind bisher noch nicht festgelegt. **Kobalt** und **Kupfer** überschritten in knapp 10 % den HW1. In Einzelfällen waren Blei, Cadmium und Antimon, sowie Quecksilber auffällig.

4.3 Bildung von regionalen Bodeneinheiten

Für die Bildung von regionalen Bodeneinheiten war die Zielrichtung vorgegeben, eine räumliche Abgrenzung vorhandener Bodenbelastungen darstellen zu können. Deshalb wurde hier Wert auf eine differenzierte Darstellung auch in Hinblick auf den Anteil von Serpentin im Substrat gelegt. Denn schon ein Anteil von etwa 10 % erhöht z.B. den Cr-Gehalt um das 5 bis 10fache des ursprünglichen Wertes.

Die regional vorkommenden Substrate wurden in Anlehnung an Punkt 4.1 aggregiert und dienen als Grundlage für die im Folgenden **Hintergrundwerte-Einheiten (eigentlich „Hintergrundgehalt-Einheiten)“** (HGW-Einheiten) genannten Bodenabgrenzungen. Die Festlegung der HGW-Einheiten mit Serpentinanteil wurde an gesetzlich relevanten Schwellenwerten orientiert. So übersteigen die Werte der Einheit ph_5_10 die üblichen Hintergrundwerte und vor allem die Vorsorgewerte deutlich. Sie können somit als Warnstufe dienen. Bei der Einheit ph_10_50 werden i. d. R. die Prüfwerte überschritten und bei ph_50_75 werden zusätzlich die Hilfswerte 2 des LfW-Merkblattes Nr.3.8/1 vom 31.10.01 überschritten.

5 Kartographische Darstellung der Gebiete mit erhöhten Hintergrundwerten

5.1 Geostatistischer Ansatz

Zur Klärung, ob die erhobenen Messwerte in einer räumlichen Abhängigkeit stehen und ggf. eine Interpolation ermöglichen, wurden für die gemessenen Cr- und Ni-Gehalte der Auflage einer Variogrammanalyse (Variowin 2.2) unterzogen (vgl. Graben-Bericht, Kap. 3.4.6). Cr- und Ni-Konzentrationen der anderen Bodentiefeinheiten (Oberboden, Unterboden, Untergrund) wurden von dieser Betrachtung ausgenommen, da bei ihnen der Einfluss des ubiquitären Stoffeintrags nur von untergeordneter Bedeutung ist und stattdessen räumlich vorgegebene Substrateinflüsse als vorherrschend erwartet werden können.

Die mittels Variogrammanalyse bestimmten räumlichen Abhängigkeiten der Cr- bzw. Ni-Gehalte der Auflagen zeigen allerdings keine verwertbare Korrelationsstruktur. Vielmehr sind sie von Hole-Effekten (Cr) und ausgeprägter kleinräumiger Variabilität („Nugget-Effekt“, Ni) gekennzeichnet. Unter diesen Voraussetzungen erschien eine weitere Betrachtung im Hinblick auf Interpolationsverfahren nicht sinnvoll.

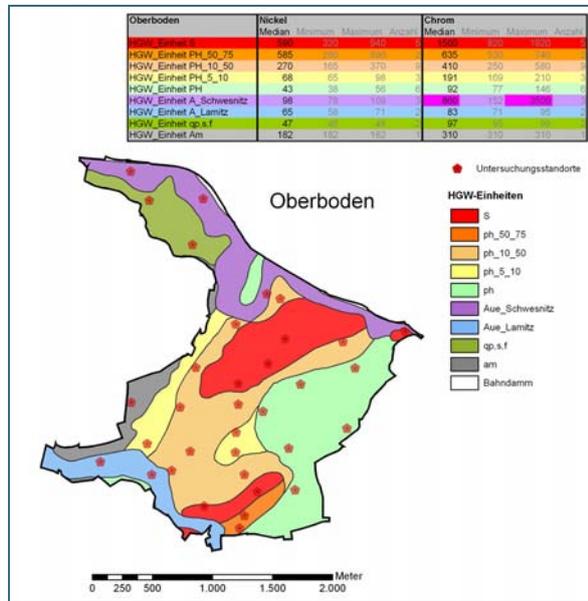
5.2 Expertengestützte Abgrenzung

Zur expertengestützten Abgrenzung wurden alle verfügbaren Daten- und Kartenunterlagen einbezogen. Die entscheidenden „**Stützpunkte**“ sind jedoch die gewonnenen **Analysendaten**. Ergeben die Analysen z.B. typische Werte für einen Serpentinstandort, so wird dieser Standort zwingend räumlich zur HGW-Einheit „S“ zugeschlagen, auch wenn die GK25 oder die BK25 an dieser Stelle keinen Serpentin ausscheidet. Umgekehrt wurden Flächen, die laut GK25 oder BK25 Serpentin ausscheiden, die Analysenergebnisse aber dagegen sprechen, entsprechend neu zugewiesen.

Die „Kernbereiche“ blieben weitgehend erhalten. Veränderungen gab es v.a. in den Randbereichen, wo Fließerden mit Mischsubstraten vorliegen. Wo es möglich war, wurden vorhandene Grenzverläufe der BK/KBK übernommen. Die vorliegenden Karten mussten insofern nicht vollkommen neu gezeichnet werden. Notwendig waren jedoch Aggregationen, stellenweises Verändern bzw. Verschieben von Grenzverläufen oder in Einzelfällen ein Neuzeichnen.

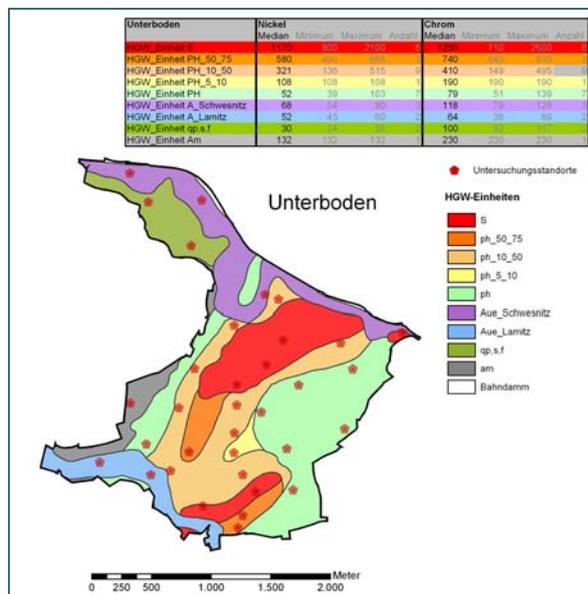
Für die Feinabgrenzung wurde neben den oben genannten Punkten auch großer Wert auf die jeweilige Geländesituation gelegt. Die jeweiligen „Liefergebiete“ für Substrate wurden beachtet, ebenso Geländeerhöhungen oder -vertiefungen. Das Digitale Höhenmodell und die detaillierten Höhenlinien der FK5000 waren dazu wertvolle Grundlagen.

5.2.1 Oberboden



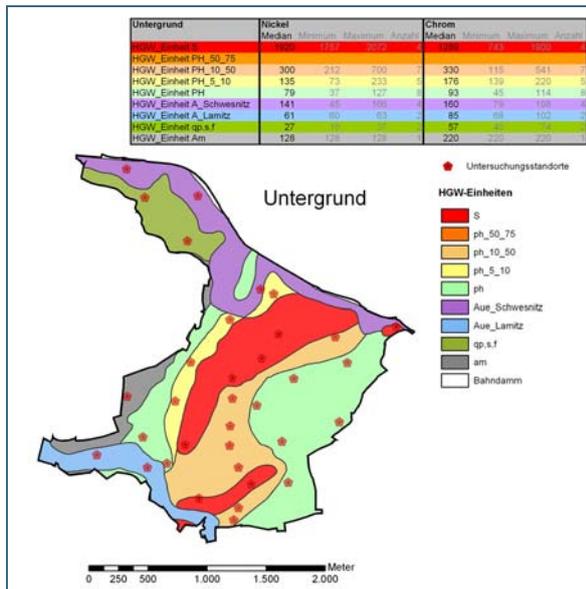
Im Oberboden zeigen sich deutliche und auch relativ scharf abgrenzbare Bereiche unterschiedlicher Stoffausstattung. Die Bereiche mit sehr hohen Werten orientieren sich an den Serpentinflächen der GK25. Auffällig ist im südlichen Teil die hier vorkommende HGW-Einheit PH_50_75. Hier ist kein Serpentin ausgewiesen. Dies stellt einen typischen Fall von mächtigen Fließerden dar. Allgemein finden sich im Randbereich und v. a. hangabwärts erhöhte Werte in Bereichen, wo laut vorhandenen Karten keine zu finden sein dürften.

5.2.2 Unterboden



Im Unterboden verbessert sich die Schadstoffsituation im westlichen Bereich. Im zentralen Bereich erhöhen sich die Werte.

5.2.3 Untergrund



Im Untergrund konzentrieren sich die belasteten Bereiche in der Nähe der Kernbereiche.

6 Einfluss auf Oberflächen-, Sicker- und Grundwasser

An ausgewählten Standorten wurden auch Eluatuntersuchungen durchgeführt. Bei Nickel zeigte sich eine deutliche Eluierbarkeit über alle Horizonte, v. a. jedoch in den oberen Horizonten, die der Verwitterung besonders stark ausgesetzt sind, und auch bei hydromorphem Einfluss. Bei Chrom waren die Werte zwar erhöht, meist aber noch unter den Grenzwerten.

Bei der Beprobung der Oberflächengewässer wurden sowohl Fließgewässer als auch stehende Gewässer beprobt. Innerhalb der Kernbereiche sind biotopartige kleine Seen vorhanden. Diese weisen die höchsten Werte auf. Aber auch die direkten Vorfluter zeigen erhöhte Werte. Bei größerer Entfernung tragen Verdünnungseffekte rasch zu einer Normalisierung der Werte bei. Im Rahmen des Projektes wurden auch drei Brunnen und eine Quelle untersucht. Auch hier erkennt man eine enge räumlich Korrelation zu den im Boden vorliegenden Schadstoffen.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Analysenergebnisse zeigen **deutliche Grenzwertüberschreitungen**. Bei Feststoffanalysen betragen die Konzentrationen bei Nickel und Chrom bis über 2000 mg/kg. Während bei Nickel die Werte vom Oberboden zum Untergrund hin zunehmen, bleiben sie bei Chrom über die verschiedenen Bodenhorizonte hinweg auf ähnlich hohem Niveau.

Für die räumliche Abgrenzung der stofflichen Belastungen wurden regionale Hintergrundwerteeinheiten gebildet. Dabei wurden Substrate mit ähnlich hohen Hintergrundwerten aggregiert, um die jeweiligen Datenkollektive zu vergrößern und damit die statistische Aussagefähigkeit zu verbessern. Die entstandenen Karten zeigen getrennt nach Ober-, Unterboden und Untergrund durchaus ein anderes Bild der stofflichen Belastung. Die teils mächtigen Fließerden mit Serpentinitanteil sind deutlich zu erkennen.

Eluatuntersuchungen deuten auf eine **Eluierbarkeit von Nickel** hin. Hier werden Werte bis über 200 µg/l gefunden. Auch bei Chrom sind deutliche Erhöhungen festzustellen (bis über 100 µg/l, aber in geringerer Anzahl). Die Untersuchungen an Oberflächengewässern, sowie Brunnen und Quellen bestätigen eine „natürliche“, geogen bedingte Eluierbarkeit von Nickel. Das betroffene Gebiet ist jedoch eng an das räumliche Auftreten von Serpentin(misch)substraten geknüpft.

Das räumliche Auftreten von Serpentiniten erstreckt sich in Bayern auf eine Fläche von ca. 10 km². Berücksichtigt man die beeinflussten Randbereiche dürften ca. 20 km² von Serpentin beeinflusster Böden existieren. Nach den Maßstäben der Altlastenbearbeitung wären Serpentingebiete eventuell sogar als „sanierungsbedürftig“ anzusehen. Eine Kennzeichnung und weitere Beobachtung solcher Gebiete auch in Hinblick auf sich ändernde Umweltbedingungen sind deshalb sehr wichtig. Bei Fragen der Schadstoffbewertung gerade auch im Vollzug ist die Kenntnis über geogene Vorbelastungen unabdingbar.

Die Aggregation der Daten nach GW-Einheiten kann zu einem deutlich geringeren Arbeitsaufwand führen, da die Stichprobenanzahl zunimmt und statistisch abgesicherte Werte leichter zu erreichen sind.

Eine regionale Betrachtung von Hintergrundwerten erscheint sinnvoll. Die Werte z.B. für Phyllit in Südbayern entsprechen nicht unbedingt denen im Bereich der Münchberger Gneismasse.

Erstellung einer Bodenkarte mit hierarchischen Informationsebenen unter besonderer Berücksichtigung serpentinit-bürtiger Schwermetalle (Cr, Ni) in periglazialen Deckschichten und Böden Nordostbayerns

Alexander Heinel, Universität Regensburg

Vorwort

Diese Diplomarbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze“ im Sonderprojekt „Geogene Belastungen bei Böden aus Serpentin“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Referat 108, Vorsorgender Bodenschutz, unter der Leitung von Dr. Bernd Schilling sowie am Institut für Geographie der Universität Regensburg unter der Betreuung von Prof. Dr. Jörg Völkel, AG Landschaftsökologie und Bodenkunde, angefertigt.

Diese Arbeit baut auf den Ergebnissen von Dipl. Ing. Klaus Pfadenhauer (Wasserwirtschaftsamt Kronach) auf. Das Untersuchungsgebiet umfasst in großen Teilen dieselbe Fläche wie bei dem Projekt „Ermittlung von Gebieten mit lokal erhöhten Hintergrundgehalten am Beispiel der geogenen Schwermetalle (Cr, Ni) im Serpentin bei Schwarzenbach an der Saale“. Für diese Arbeit wurde jedoch die Datendichte erhöht und andere Schwerpunkte gesetzt.

Die verwendete Literatur kann beim Autor nachgefragt werden!

1 Problemstellung und Zielsetzung

Das Untersuchungsgebiet ist oberflächennah durch zum Teil mächtige Fließerden überformt. Die Entwicklung der Böden findet in den hier ausgeprägten periglazialen Deckschichten statt. Anhand von Aufschlüssen und Laboranalysen soll eine horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe Chrom und Nickel erarbeitet werden. Dabei werden die gewonnenen Daten nach Haupt-, Basis- und Verwitterungslage aggregiert. Die erhöhten Chrom- und Nickelgehalte von Serpentin und die entsprechend niedrigeren Schwermetallgehalte der umliegenden Ausgangsgesteine können Aufschluss über die Zusammensetzung der Substrate in den Fließerden geben. Hierbei wird der Serpentinanteil in den Fließerden berücksichtigt und zu entsprechenden Hintergrundgehaltseinheiten zusammengefasst. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit ist die Erarbeitung eines genauen Digitalen Höhenmodells (DHM), sowie die Erstellung einer 2,5 D-Bodenkarte, die die Grenzen der periglazialen Deckschichten aufzeigt und darüber hinaus Informationen über die Bodentypen, die Geologie und das Relief beinhaltet.

2 Fließerdeproblematik

2.1 Lösungsansatz

Anhand der Ergebnisse aus der Geländeansprache und den Laboranalysen wurden die gewonnenen Daten zu Hintergrundgehaltseinheiten klassifiziert. Die gebildeten Hintergrundgehaltseinheiten umfassen die umliegenden Ausgangssubstrate (Serpentin, Amphibolit, Phyllit, Flußauenlehme) sowie die Fließerden. Die Fließerdebereiche wurden als Mischsubstrate behandelt und zu fünf Hintergrundgehaltseinheiten mit geringem bis sehr hohem (reinem) Serpentinanteil zusammengefasst. Die Auf-

schlüsse der Fließerebereiche wurden anschließend zu drei Gruppen mit charakteristischer Schwermetallverteilung im Profil aggregiert. Die aggregierten Einheiten wurden abweichend von der LABO nach Haupt-, Basis- und Verwitterungslage berechnet. Die Verwitterungslage entspricht der Zersatzzone, ist aber ebenso wie Haupt- und Basislage dem Hangsedimentkomplex zuzuordnen.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Amphibolit- und die Phyllitstandorte grenzen den Einfluss des Serpentinits gut nach Osten bzw. Westen ab. Die gewonnenen Ergebnisse der Mischsubstrate lassen den Schluss zu, dass das Gestein Serpentin bei der Substratzusammensetzung der ausgeschiedenen Fließerden in entscheidender Weise beteiligt ist. Die hohen Serpentinanteile in den periglazialen Deckschichten (Haupt- und Basislage) stammen von den beiden, im Untersuchungsgebiet liegenden Serpentinzügen. Aufgrund der kryptobaren und solifluidalen Genese von periglazialen Deckschichten ist der Einfluss der beiden Höhenzüge, die aus Serpentin aufgebaut sind, in den periglazialen Lagen des Arbeitsgebietes weit reichend sichtbar. Die periglazialen Hangsedimente sind in ihrem Substrataufbau stark vom Serpentin geprägt (Abb.2). Doch auch im Untergrund, im Bereich der Verwitterungslage macht sich der Einfluss des Serpentinits bemerkbar. Möglicherweise steht an diesen Standorten der Serpentin im Untergrund an oder durchzieht das Gestein in Gängen oder Linsen. Außerhalb des Untersuchungsgebietes in südwestlicher Richtung wurden diese kleineren Linsenformen des Serpentinits auf der Geologischen Karte auch kartiert und ausgeschieden. Darüber hinaus steht im Liegenden der periglazialen Deckschichten nicht das schlagfeste Festgestein an, sondern Zersatzmaterial, das im Kontaktbereich zu den Deckschichten während der Kaltzeiten verzogen wurde und daher nicht zwangsweise autochthon lagern muss. Daher könnte in geringem Ausmaß auch die Verwitterungslage durch das Hangende, in Folge solimixtiver Prozesse in seinem Schwermetallgehalt beeinflusst sein. Eine durchgehende Verbindung der beiden Serpentinzüge im Untergrund kann aufgrund der erzielten Ergebnisse nahezu ausgeschlossen werden. Wahrscheinlicher ist, dass das Gestein Phyllit im Untergrund von nordwestlicher nach südöstlicher Richtung ausstreicht und durch andere Gesteinsfazies, wie Phyllitquarzite, Prasinite und eben auch Serpentinite durchsetzt ist.

3 GIS-Modellierung

3.1 Datenaufbereitung

Die digitale Bearbeitung erfolgte mit Hilfe der Software ESRI ArcGis 9.2 sowie verschiedener Graphikbearbeitungsprogramme. Die Datensätze wurden in einem ersten Schritt umfassend aufbereitet und generalisiert. Mit Hilfe der Erweiterungen Spatial - Analyst und 3D-Analyst wurden anschließend aus flächigen, zweidimensionalen Kartendarstellungen räumliche, dreidimensionale Eindrücke erzeugt. Die Daten mussten über verschiedenste Funktionen der oben genannten Erweiterungen bearbeitet, angepasst und interpoliert werden. Beispielsweise kann die Informationsebene der Bodentypen über das digitale Höhenmodell (DHM) gelegt werden (Abb. 1). Die einzelnen periglazialen Deckschichten wurden über die Tiefenangaben der Geländeansprache aus Punktdaten mittels Interpolationsverfahren in Flächendaten umgewandelt und mit dem 3D-Analyst überarbeitet (Abb.2).

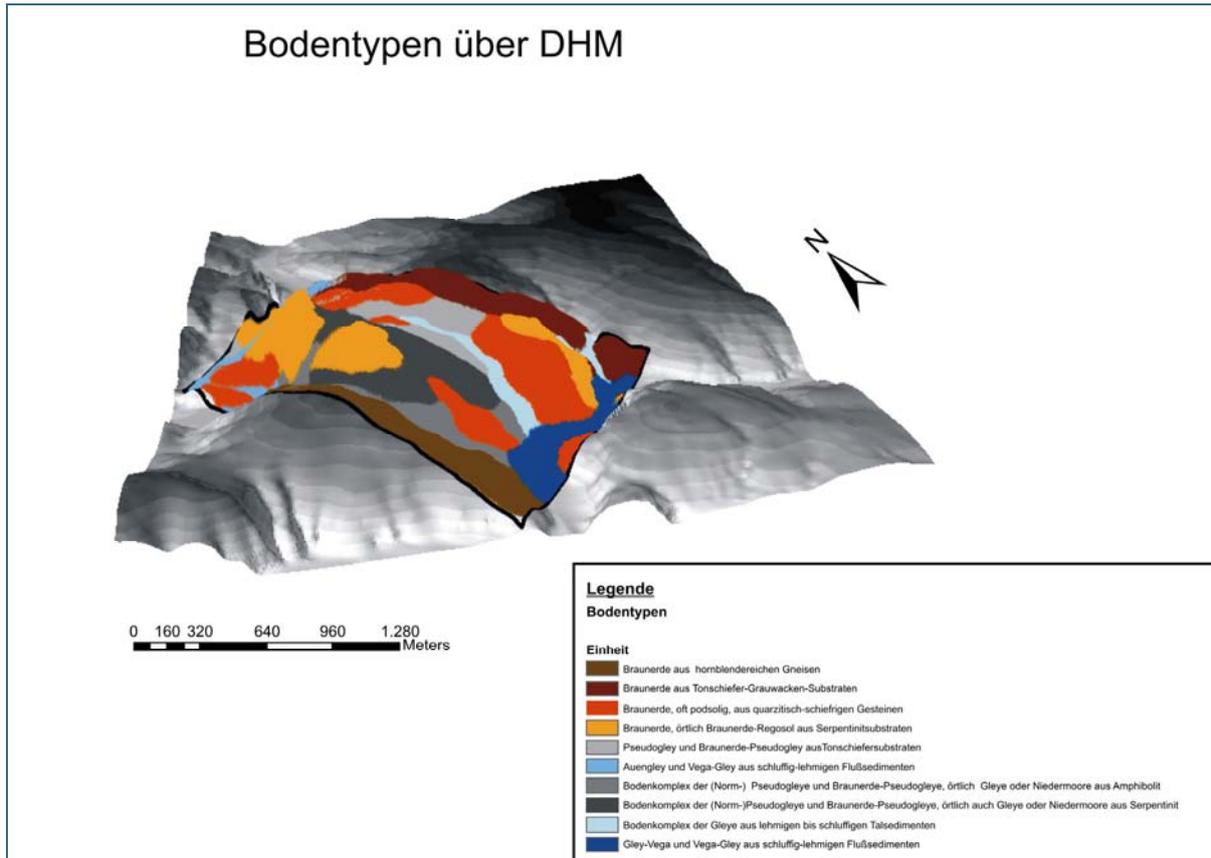


Abb. 1: Bodentypen über Digitalem Höhenmodell

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Hauptlage

Bei der modellierten Fläche der Hauptlagenuntergrenze erscheinen die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Höhenzüge und -rücken sehr deutlich. Ebenso gut zu erkennen sind die beiden Talauen der Lamitz im Süden und der Schwesnitz im Norden des Arbeitsgebietes. Im Durchschnitt ist die Hauptlage ca. 45 cm mächtig, wobei es nur geringe Schwankungen nach oben und unten gibt. Verallgemeinernd kann festgehalten werden, dass die Mächtigkeit der Hauptlage vom Ober- zum Unterhang zunimmt.

3.2.2 Basislage

Die Basislagenuntergrenze spiegelt das reale Relief nicht so gut wieder, wie die Untergrenze der Hauptlage. Komplette Höhenrücken werden nicht mehr erfasst, lediglich einzelne Bergkuppen stechen noch hervor. Die Talbereiche sind ebenfalls noch zu erkennen. In der Gesamtbetrachtung ist die Basislage in ihrer Mächtigkeit inhomogener als die Hauptlage ausgeprägt. Die gravierenden Abweichungen von der realen Geländeoberfläche hängen wahrscheinlich mit der häufig mehrgliedrigen Zusammensetzung der Basislage und den damit verbundenen Mächtigkeitsschwankungen zusammen.

3.2.3 Verwitterungslage

Die Verwitterungslage ist vielfach über 50 cm mächtig und kann auch mehrere Meter an Mächtigkeit erreichen. Für die digitale Konstruktion der Verwitterungslage wurde eine maximale Mächtigkeit von 240 cm festgelegt. Dadurch wurde der graphische Eindruck nicht zu stark verzerrt. In der folgenden

Abbildung ist zu erkennen, dass die Verwitterungslage auf den Kuppen und Bergrücken geringer ausgebildet ist als in den Hangbereichen und hier besonders im Bereich der Unterhänge. Die Oberfläche der konstruierten Verwitterungslage entspricht der realen Geländeoberfläche wieder etwas besser.

3.3 Fazit

Die Konstruktion der obigen Lagen gibt den realen Zustand nur in groben Zügen wieder. Für eine genauere Darstellung müsste die Anzahl der Aufschlüsse, bei denen die einzelnen Lagen angesprochen und erfasst werden, um ein Vielfaches erhöht werden. Die Interpolation orientiert sich zwar am Digitalen Geländemodell mit einer 10m-Gitter-Auflösung, jedoch werden die Hangsedimente nur anhand der einzelnen Aufschlüsse berechnet und interpoliert. Die verwendeten 36 Fixpunkte (Aufschlüsse) auf einer Fläche von ungefähr 4,9 km² reichen aber lediglich dafür aus, das Makrorelief wiederzugeben. Um in die Bereiche des Meso- und vor allem des Mikroreliefs vorzudringen, müsste man ähnlich wie im Digitalen Höhenmodell ein 10m- Raster verwenden. Auf diese Weise könnten dann auch kleinere Geländeunebenheiten, wie z.B. Mulden oder Senken dargestellt werden. Mit den vorhandenen Datenmengen lassen sich aber die großen Höhenzüge und die Täler gut darstellen. Grundsätzlich ist es mit der angewandten Methode möglich die unterschiedlichen Schichten zu erzeugen und graphisch darzustellen. Leider ist es aber mit der verwendeten Software (ArcGis) im Rahmen der Diplomarbeit nicht möglich gewesen Vollformen zu konstruieren. Daher kann man nur die Grenzverläufe der einzelnen Schichten wiedergeben. Stellt man diese jedoch übereinander dar, kann ein guter optischer Eindruck von den Mächtigkeiten der einzelnen Lagen erreicht werden

Arsen in den Böden des Dachauer, Freisinger und Erdinger Mooses

Ergänzungsprojekt zum Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze'

Dr. Walter Martin, LfU

Das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) wurde im Mai 2001 über Arsengehalte bis 89 mg/kg auf einem Grundstück in Hallbergmoos informiert. Im Februar 2002 geht dem GLA das umfassende Gutachten über das Gelände zu. Vorbehaltlich einer historischen Arsenverarbeitung, die später ausgeschlossen wurde, erklärte das GLA eine anthropogene Anreicherung für wenig wahrscheinlich.

In Folge überprüfte das LRA Freising die Böden im Bereich von Kinderspielflächen und informierte die Fachbehörden im Oktober 2002 über Arsenfunde im Gemeindegebiet Hallbergmoos, die den Prüfwert für Kinderspielflächen von 25 mg/kg überschritten.

Im Januar 2003 erklärte sich das GLA bereit das Ausmaß der erhöhten Arsengehalte im Rahmen des Projektes „Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze (GRABEN)“ zu untersuchen.

Im Frühjahr 2003 wurden durch das GLA, unterstützt durch das WWA-München und das WWA-Freising, an 45 Standorten 123 Proben und im Herbst 2003 im Auftrag des GLA an 139 Standorten 308 Proben aus Bohrungen horizontbezogen entnommen und umfassend im Bodeninformationssystem dokumentiert. Beprobungsschwerpunkte waren das Dachauer Moos, das Freisinger und Erdinger Moos.

Die Bodenproben wurden luftgetrocknet und der Feinbodenanteil (Einzelkorndurchmesser < 2 mm) für die Untersuchung herausgesiebt und die Gehalte folgender anorganischer Stoffe, jeweils im Königswasseraufschluss (KW) und im Ammoniumnitratextrakt (AN) ermittelt: As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn. Zusätzlich wurden der pH-Wert, Gesamt-C, Anorganisch-C, Gesamt-N und Gesamt-S und an „Herbst“-Proben zusätzlich Fe-Gesamt, Fe-Oxalat und Fe-Dithionit bestimmt. Parallel dazu wurden im Sommer 2003 durch die Regierung von Oberbayern und die zuständigen Landratsämter Marktfrüchte und Futterpflanzen untersucht und nur bei einer Futterprobe eine Überschreitung gefunden.

Überschreitungen von Prüf- oder Maßnahmenwerten in den Böden wurden nur für Arsen im Königswasseraufschluss gefunden (Abb. 1). Die höchsten Arsengehalte wurden überwiegend in den ersten weitgehend dauerhaft oxidierten Horizonten über den dauerhaft oder häufig temporär reduzierten Horizonten gefunden. Als Quelle des Arsens werden aufsteigende reduzierte Grundwässer aus dem Tertiärgrundwasserleiter angesehen, die je nach Brunnen unterschiedliche und teilweise beachtliche Fe- und As-Gehalte aufweisen. Bei fehlendem Geringleiter zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk steigt das tertiäre Grundwasser, aufgrund der umliegenden Erhebung des Tertiärhügellandes, in das quartäre Grundwasserstockwerk auf und gelangt dort in Kontakt zu Luftsauerstoff. Dabei wird gelöstes Fe und As als Fe-(Hydr-)Oxide und Arsenate ausgefällt (Abb. 2).

Aus den ermittelten Arsengehalten wurden Hintergrundwerte (Tab. 1) und die flächige Verbreitung (Abb. 3) ermittelt.

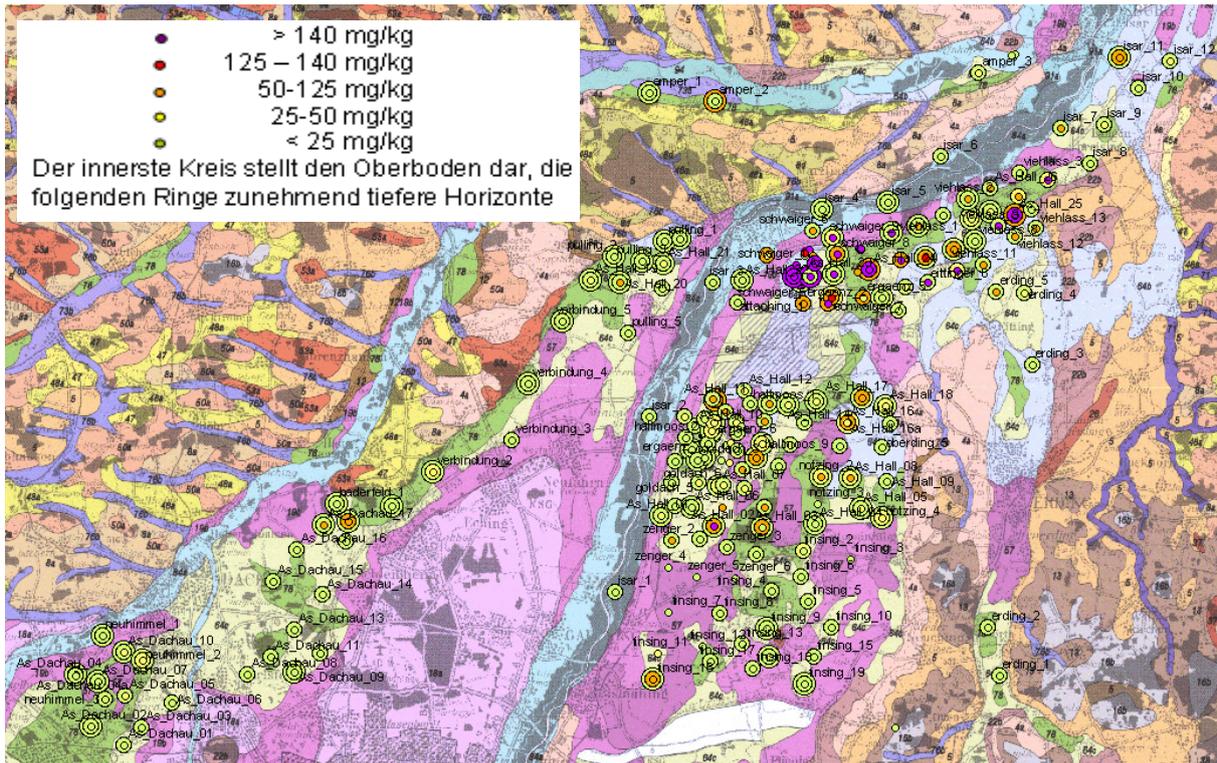


Abb. 1: Ausschnitt der Bodenübersichtskarte 1:200 000 von München mit den beprobten Standorten

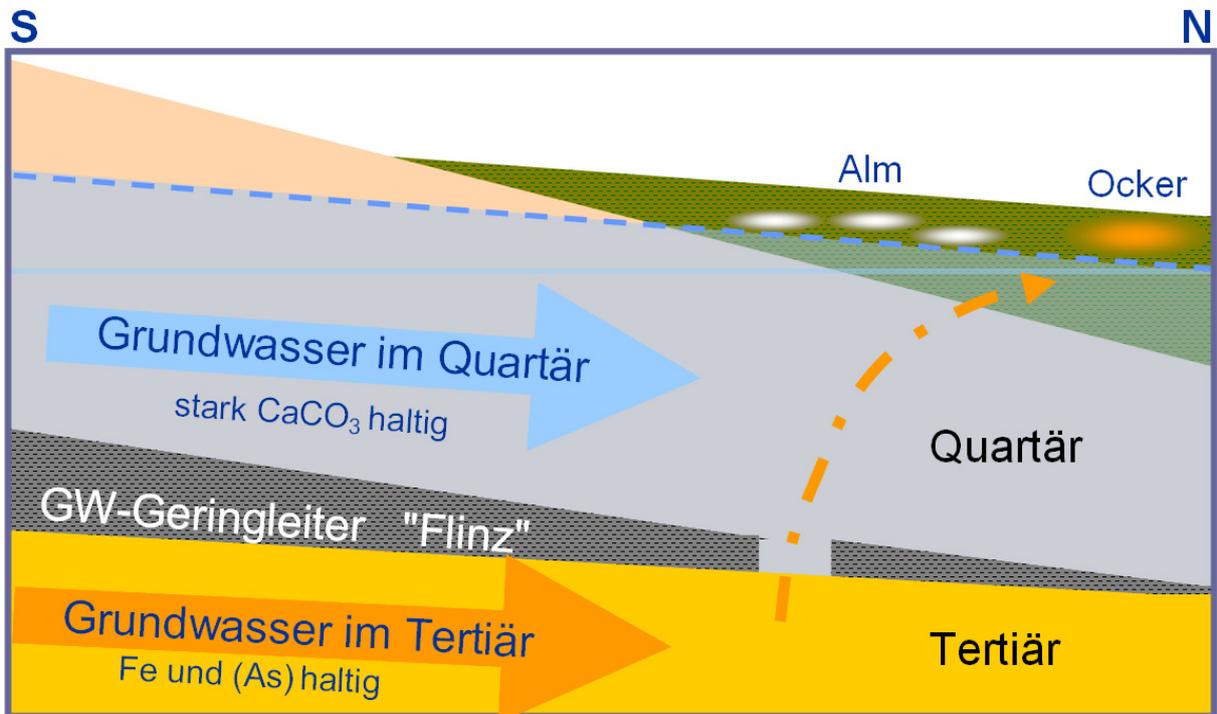


Abb. 2: Schematischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet von Süd nach Nord mit den Grundwasserströmen und den Almkalk- und Ocker- Ausfällungen im Niedermoor

Tab. 1: Hintergrundwerte für das gesamte Untersuchungsgebiet geschichtet nach Nutzung, Bodenausgangsgestein und Ober- bzw. Unterboden

Filter	Ohne Ausreißer Bereinigung			
	n	Median	90. P	Max
Alle	485	11	89	1612
Oberboden, mineralisch	146	20	161	940
Oberboden, mineralisch (Acker)	72	19	76	580
Oberboden, mineralisch (Grünland)	64	27	196	940
Unterboden, mineralisch	156	6	48	920
Oberboden, Torf	55	36	270	1612
Oberboden, Torf (Acker)	9	30	322	322
Oberboden, Torf (Grünland)	36	35	166	1612
Unterboden, Torf	71	18	96	329

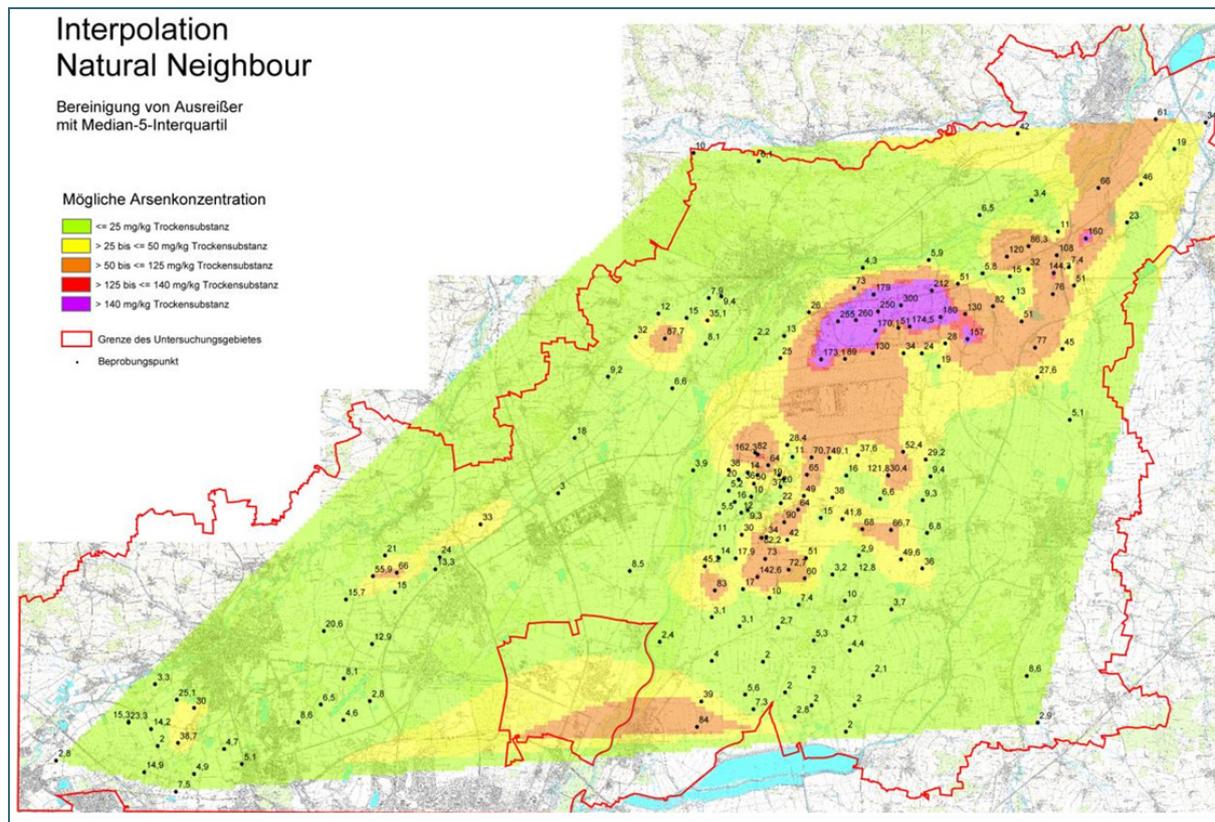


Abb. 3: Karte des Untersuchungsgebietes mit den interpolierten Arsenkonzentrationen im Boden

In Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) wurde im Sommer 2004 die Verfügbarkeit des bodenbürtigen Arsens bei oraler Aufnahme an 18 Bodenproben aus der betroffenen Region ermittelt (E-DIN 19738). Das 90-te Perzentil mit 30 % Resorptionsverfügbarkeit wurde für die Berechnung regional angepasster Prüf- und Maßnahmenwerte zugrunde gelegt.

$$\text{PrüfwertRegional} = (\text{PrüfwertBBodSchV} * 100) / \text{Resorptionsverfügbarkeit}_{\%}$$

Als regional angepasste Prüfwerte wurden damit folgende Werte festgesetzt:

Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
85 mg/kg	170 mg/kg	425 mg/kg	500 mg/kg

Danken möchte ich

- dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz wird für die finanzielle Unterstützung bei Probenahme und Untersuchung,
- den Kolleginnen und Kollegen im Projekt für ihre hervorragende Mitarbeit und Unterstützung,
- den Wasserwirtschaftsämtern Freising und München für die Unterstützung bei der Probenahme, Überlassung von Daten und der Unterstützung bei der Interpretation,
- der Regierung von Oberbayern, den Landratsämtern Freising und Erding, der Flughafen München GmbH wird für die Überlassung von Daten und
- den Diplomanden Frau Königskötter, Frau Quaiser, Herrn Ebert und Herrn Kantioler und ihren Betreuern für ihre guten Arbeiten, welche die Arbeit des LfU ausgezeichnet ergänzten.

Kennzeichnung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten

Uwe Geuß, Dr. Edzard Hangen, LfU

1 Einführung

Hintergrund der Diskussion um die Kennzeichnung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten sind folgende Passagen in der Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung BBodSchV (1999) und der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern BayBodSchVwV (2000):

BBodSchV § 4, Abs. 8

„Eine schädliche Bodenveränderung besteht nicht bei Böden mit naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen allein auf Grund dieser Gehalte, soweit diese Stoffe nicht durch Einwirkungen auf den Boden in erheblichem Umfang freigesetzt wurden oder werden.“

BBodSchV § 9, Abs. 1

„Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen nach § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist in der Regel zu besorgen, wenn Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 überschreiten, (...)“

BBodSchV § 9, Abs. 1

„Bei Böden mit naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten besteht die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen bei einer Überschreitung der Vorsorgewerte (...) nur, wenn eine erhebliche Freisetzung von Schadstoffen (...) nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.“

BBodSchV § 12, Abs. 10

„In Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden ist eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes zulässig, wenn die (...) genannten Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und insbesondere die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird. Die Gebiete erhöhter Schadstoffgehalte können von der zuständigen Behörde festgelegt werden.“

BayBodSchVwV, Nr. 5.1

„Flächen, in denen die Hintergrundwerte die Vorsorgewerte überschreiten, werden vom (Geologischen Landesamt) unter Mitwirkung der Wasserwirtschaftsämter ermittelt und für die Vollzugsbehörden dargestellt.“

Der Gesetzgeber besagt damit, dass es bei Böden mit naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten, die also den Vorsorgewert überschreiten, nur dann zu einer Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung kommt, wenn durch eine erhebliche Freisetzung von Schadstoffen nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu erwarten sind.

Eine Umlagerung von Bodenmaterial innerhalb von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten ist statthaft. Gebietskennzeichnungen können diesbezüglich die zuständigen Behörden vornehmen.

Eine Flächenkennzeichnung wird in Bayern in enger Zusammenarbeit mit den Wasserwirtschaftsämtern durchgeführt.

Für die Kennzeichnung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten müssen daher folgende zwei Merkmale berücksichtigt werden:

Die Gebietskennzeichnung richtet sich nach den Vorsorgewerten (Anhang 2, Nr. 4 BBodSchV). Die Vorsorgewerte sind für die Elemente Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink nach Bodenarten-Hauptgruppen differenziert aufgelistet. Für die Elemente Blei, Nickel und Zink gibt es außerdem pH-Wert-abhängige Vorsorgewerte. Die Vorsorgewerte gelten nur für Böden und Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt < 8 Prozent. Für das Element Arsen werden in Ermangelung eines anderen Regelwerkes die Werte nach LAGA M20 (2004) herangezogen, die eine Unterteilung nach Bodenarten-Hauptgruppen aufweist.

Eine Gebietskennzeichnung erfolgt, wenn der Hintergrundwert einer Raumeinheit den Vorsorgewert überschreitet, unabhängig davon, ob auch wirklich eine erhebliche Freisetzung zu erwarten ist.

Derzeit ist als Ziel, für Bayern, eine Übersichtskarte im Maßstab 1:500000 dieser Gebiete mit (potentiell) erhöhten Schadstoffgehalten zu erarbeiten. Dabei fließen die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt 'Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze' genauso mit ein wie Konzepte zu dieser Thematik aus Nordrhein-Westfalen oder Sachsen.

2 Herangehensweise

2.1 Vorarbeiten

2.1.1 Hinweiskarten der punktuellen Überschreitungen von Vorsorgewerten

Für die punktuelle Darstellung der Überschreitung von Vorsorgewerten der Elemente As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn – für As werden die LAGA M20 (2004) als Klassengrenzen herangezogen - wurden alle im Bayerischen Bodeninformationssystem BIS verfügbaren Daten (Stand: 21.07.2008) im Königswasser-Extrakt abgefragt und anschließend für die einzelnen Horizonte aus den Geländebodenarten die Bodenarten-Hauptgruppen ermittelt. Die punktuellen Überschreitungen der Vorsorgewerte (VW) wurden getrennt nach Bodenarten-Hauptgruppen im GIS visualisiert und klassifiziert in die Überschreitungsstufen: ' $\leq 2 \cdot VW$ ', ' $2 \cdot VW - 5 \cdot VW$ ' und ' $> 5 \cdot VW$ '. Die Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV wurden ebenfalls dargestellt. Beprobungspunkte, an denen keine Überschreitung zu verzeichnen ist, wurden dagegen nicht visualisiert.

Für die einzelnen Elemente zeichnete sich ein erstes, grobes Bild der räumlichen Verteilung erhöhter Hintergrundgehalte:

Arsen

Erdinger-, Freisinger Moor; Teilgebiet am Hohen Bogen im Bayerischen Wald; Teilgebiete auf der Fränkischen Alb; Teilgebiete des Frankenwaldes; im Fichtelgebirge bei Waldsassen.

Cadmium

Pegnitz/Regnitzaue zwischen Röthenbach und Forchheim; Mainaue nördlich von Bamberg; Mainaue bei Gemünden; zwischen Sulzbach-Rosenberg und Amberg.

Chrom

Basaltverwitterung; Diabas; Serpentin; Gegend um Zwiesel und Spiegelau (evtl. auf Glasherstellung zurückzuführen).

Kupfer

Um Wolnzach in der Hallertau (Hopfenanbaugesbiet); Hoher Bogen im Bayerischen Wald; in der Gegend um Weibersbrunn im Spessart; in der Pegnitz/Regnitztaue zwischen Röthenbach und Forchheim.

Nickel

Basaltverwitterung; Diabas; Serpentin; in Teilgebieten der südlichen Fränkischen Alb; um Kempten; um Zwiesel und Spiegelau; in der Mainaue bei Bamberg.

Quecksilber

Keine besonders auffälligen Gebiete.

Blei

In den triassischen Sedimenten bei Neustadt a. d. Waldnaab bzw. Weiden; um Amberg.

Zink

In der Mainaue bei Gemünden; um Zwiesel und Spiegelau; in der Vilsaue bei Theuern und Rieden; in der Mainaue bei Bamberg; um Ansbach.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vorsorgewertüberschreitungen für die einzelnen Elemente ein sehr heterogenes Bild mit unterschiedlichen Überschreitungsarten und -niveaus in ein und denselben Bodenausgangsgesteinen zeigen. Daneben heben sich Auenabschnitte und Gebiete heraus, bei denen die Vorsorgewertüberschreitung wohl einen stärkeren, anthropogenen Anteil vermuten lassen. Diesen Tatsachen muss bei der Kennzeichnung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten Rechnung getragen werden.

2.1.2 Überarbeitung der Bodenausgangsgesteinskarte 1:500000

Aus den Erkenntnissen der punktuellen Überschreitung von Vorsorgewerten wurden in der Bodenausgangsgesteinskarte 1:500000 (BAG500) als erste Konsequenz einige Flächen neu attribuiert bzw. zusätzlich abgegrenzt, die Kartengrundlage also verfeinert. Sowohl Diabase als auch Basalte sind nun eigenständige Einheiten, Serpentine wurden anhand der Übersichtsbodenkarten 1:25000 abgegrenzt und die Aueneinheiten neu gegliedert. Ferner wurden die moorigen und anmoorigen Einheiten nach ihrem Einflussbereich von potentiell aufsteigendem tertiärem Grundwasser in zwei Einheiten getrennt.

2.1.3 Erarbeitung einer Übersichtskarte der Bodenarten-Hauptgruppen

Für Bayern gab es im Übersichtsmaßstab keine Karte der Bodenarten-Hauptgruppen. Eine solche Karte wurde auf Grundlage des Vektordatensatzes der Bodenausgangsgesteinskarte 1:500000 in einem ersten Entwurf erarbeitet. Bei einigen Bodenausgangsgesteinsgruppen mit unterschiedlichen Bodenarten-Hauptgruppen innerhalb der Einheit wurden grob Neuabgrenzungen vorgenommen. Generell wurde allen BAG-Einheiten eine Bodenarten-Hauptgruppe zugewiesen und die Sachinformation in einer weiteren Spalte des Vektordatensatzes abgelegt. Informationen wurden dabei, wo vorhanden, aus den Legendenbeschreibungen der Übersichtsbodenkarten 1:25000 aber auch aus der Legende der nur im Rasterformat vorliegenden Bodenübersichtskarte 1:500000 aus dem Jahre 1951 gezogen. Die um die Informationsebene der Bodenarten-Hauptgruppen ergänzte Bodenausgangsgesteinskarte 1:500000 kann nun sowohl als Grundlage für eine Bodenbelastungskarte genutzt werden als auch für räumliche Abfragen des Hintergrundwertes im Hinblick auf den Vorsorgewert der jeweiligen Bodenarten-Hauptgruppe Verwendung finden.

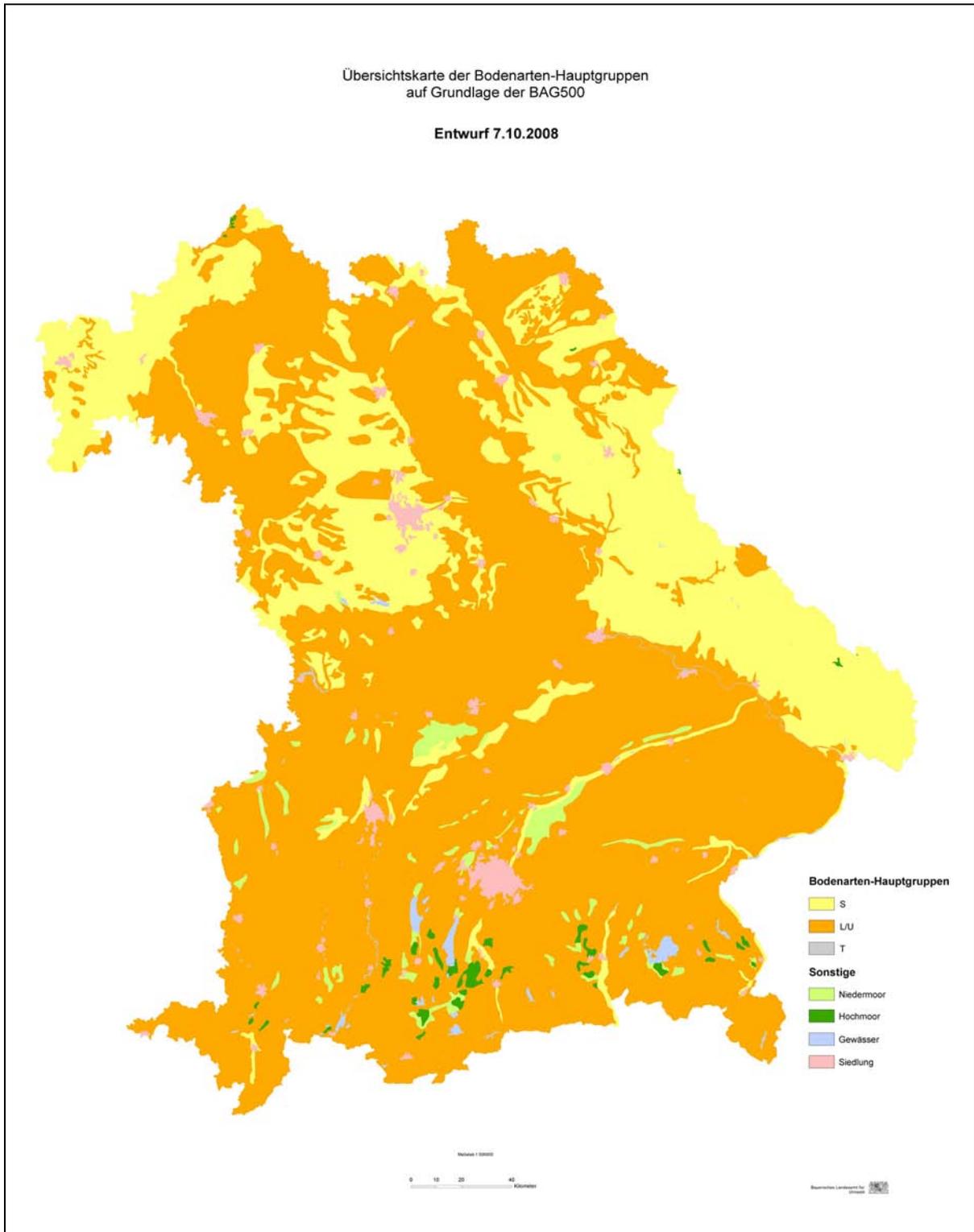


Abb. 1: Entwurf einer Karte der Bodenarten-Hauptgruppen im Maßstab 1:500000.

2.1.4 Wann ist ein Standort geogen – eine Annäherung?

Der Gesetzgeber spricht im Zusammenhang mit der Kennzeichnung von naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten von Standorten und letztlich Gebieten, in denen geogen ein erhöhter Stoffgehalt vorzufinden ist.

Um festzustellen, ob ein Standort geogen oder doch mehr oder weniger anthropogen beeinflusst ist, wurde angenommen, dass der Stoffgehalt bei einem geogenen Standort von oben nach unten zunimmt, anthropogene Standorte dagegen ein anderes Verteilungsmuster aufzeigen.

Zu diesem Zweck wurden die Profil- und Analysedaten im Königswasser-Extrakt für die Elemente As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn herangezogen, die im BIS verfügbar sind. Analog der Vorgaben nach LABO (2003) wurden diese zu Horizontgruppen in Oberboden, Unterboden und Untergrund zusammengefasst und für diese Gruppen der gewichtete Analysenwert berechnet. Anschließend wurden die einzelnen Horizontgruppen eines Elementes im GIS über den Rechts-/Hochwert des Standortes visualisiert und nur die Standorte weiter betrachtet, bei denen alle drei Horizontgruppen vorhanden waren. Danach wurden die zunächst getrennten SHAPE-Dateien über einen zweimaligen SPATIAL JOIN zusammengeführt, die Analysenwerte der einzelnen Horizontgruppen miteinander verglichen und der Vergleich (Unterboden > Oberboden; Untergrund > Unterboden) als BOOLScher Wert in zwei separaten Spalten der SHAPE-Datei abgelegt (1 bedeutet eine wahre Aussage, d.h. der aggregierte Analysenwert des Unterbodens ist höher als der des Oberbodens). Die beiden Spalten mit der Codierung wurden abschließend zusammengefügt und die Standorte damit attribuiert.

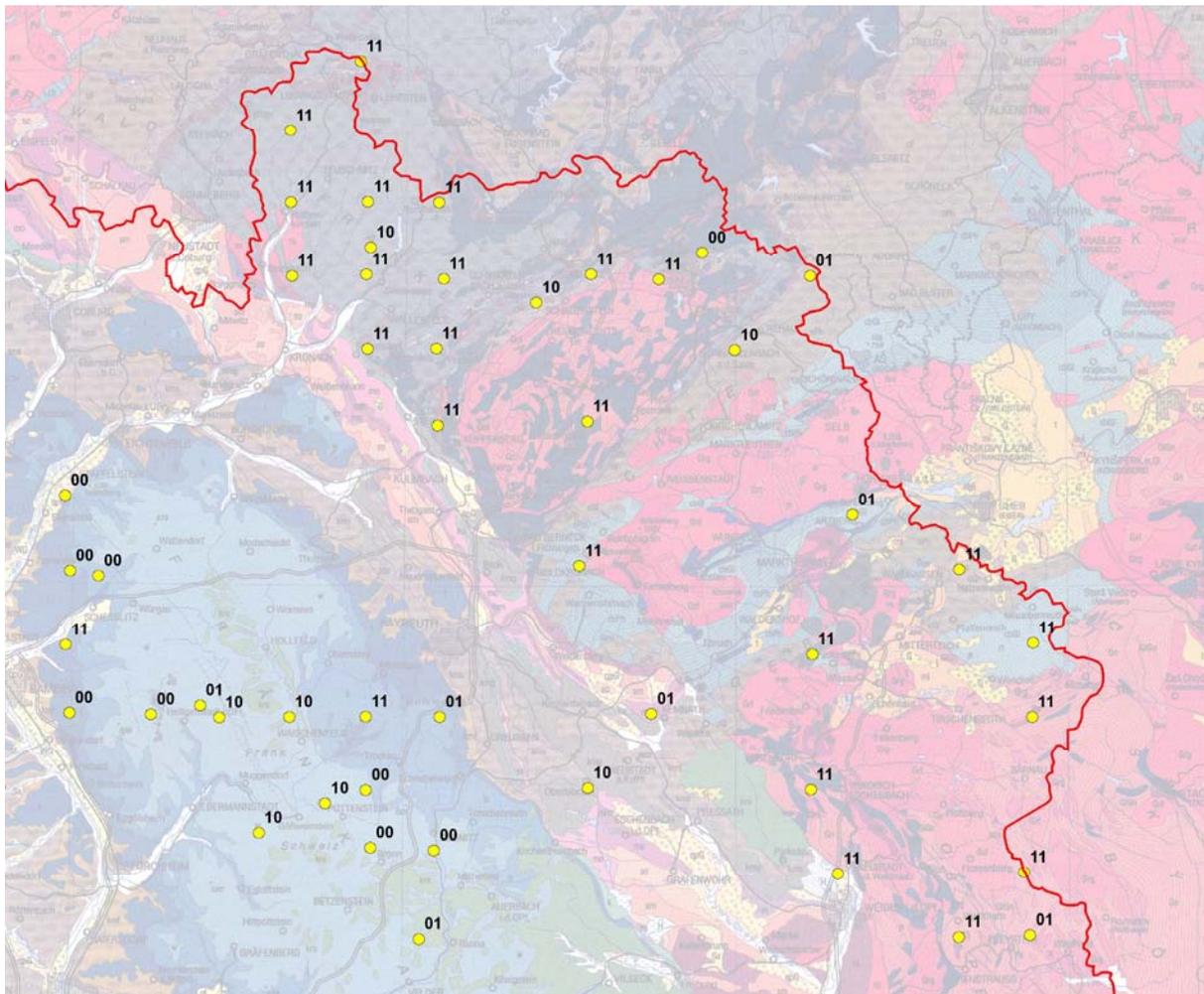


Abb. 2: Ausschnitt des Tiefenverteilungsmusters bei Kupfer. Die erste Zahl ist der Vergleich Unterboden > Oberboden, die zweite Zahl Untergrund > Unterboden. 1 = ja, 0 = nein.

Erste Ergebnisse zeigen, dass Arsen kein spezielles Verteilungsmuster aufweist. Bei Cadmium scheint eine Abnahme vom Ober- über den Unterboden zum Untergrund hin häufig zu sein. Chrom zeichnet sich dadurch aus, dass der Gehalt im Unterboden größer ist als im Oberboden, eine Gehaltszunahme ist auch im Untergrund zu erkennen. Auffällig bei Kupfer im Bereich des Frankenwalds ist eine kontinuierliche Zunahme der Gehalte zum Untergrund hin. Eine tendenzielle Abnahme der Gehalte vom Ober- über Unterboden zum Untergrund ist hingegen bei Quecksilber zu verzeichnen. Der Gehalt von Nickel dagegen nimmt fast überall vom Oberboden zum Unterboden, oft sogar noch zum Untergrund, hin zu. Bei Blei ist generell von einer Abnahme der Analysenwerte von oben nach unten hin auszugehen. Zink zeigt kein offensichtliches Verteilungsmuster.

2.2 Methoden der möglichen Kennzeichnung

Bodenbelastungskarten als Darstellungsmedium der räumlichen Verteilung von Schadstoffgehalten in Böden haben sich etabliert. Bei diesen Karten werden durch Verschneidung der Informationsebenen Bodenausgangsgestein, Nutzung und Überschwemmungsgebiete homogene Raumeinheiten gebildet. Eine solche Bodenbelastungskarte dient zunächst einer Vorsortierung der Punktdaten. Mit einer statistischen Prüfung auf Repräsentanz und Signifikanz der einzelnen Datenkollektive einer homogenen Raumeinheit kann für die einzelnen Elemente durch Modifizierungen der Raumeinheiten die Bodenbelastungskarte noch angepasst werden (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2007). Ist die Findung der homogenen Raumeinheiten abgeschlossen, können je nach Umfang des Datenpools mehrere Wege der Datenauswertung beschritten werden. Ist die Datendichte ausreichend kann nach mehreren Zwischenschritten eine Interpolation mittels Geostatistik versucht werden. Bestimmte (geo)statistische Bedingungen müssen dabei erfüllt werden. Falls die Bedingungen für eine Interpolation zunächst ungünstig sind, können mit der Methode der Übertragung von Kennwerten (z.B. Median, 90. Perzentil) aus der statistischen Auswertung ebenfalls Aussagen zur Belastungssituation getroffen werden.

2.2.1 Kennwertübertragung des 90.Perzentils

Für die Kennzeichnung von potentiellen Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten im Übersichtsmaßstab 1:500000 wurde zunächst die Methode der Kennwertübertragung des 90. Perzentils überprüft. Dazu wurde die inhaltlich ergänzte und überarbeitete Bodenausgangsgesteinskarte zur Bildung von homogenen Raumeinheiten im Sinne einer Bodenbelastungskarte herangezogen und die Punktdaten damit vorsortiert. Die Punktdaten wurden nicht fachlich validiert und einer passenderen Einheit zugeordnet, da die Lage eines Standortes mit einer Vorsorgewertüberschreitung nicht verändert werden darf. Im Weiteren wurden die Punktdaten nach der Landnutzung in Forst und Landwirtschaft (Acker, Grünland) getrennt. Danach erfolgte die Horizontaggregation nach LABO sowie die Berechnung der gewichteten Analysenwerte pro Horizontgruppe. Die Datenkollektive wurden statistisch ausgewertet und das 90. Perzentil für jede Bodenausgangsgesteinseinheit zusammen mit dem Stichprobenumfang, minimaler und maximaler Wert in einer DBF-Tabelle abgelegt. Diese Tabellen der Kombinationen aus betrachtetem Element, Nutzung und Horizontgruppe wurden dann als Sachdatentabelle dem Vektordatensatz der Bodenausgangsgesteinskarte angehängt. Allen Einzelflächen einer Bodenausgangsgesteinseinheit (homogene Raumeinheit) wurde das jeweilige 90. Perzentil übertragen, falls ein solcher Wert errechnet werden konnte. Abschließend erfolgte eine Flächenabfrage auf die einzelnen Bodenarten-Hauptgruppen und den Überschreitungen des jeweiligen Vorsorgewertes, um so Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten herauszuarbeiten. Diese Flächen würden Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten darstellen und durch Schraffierung gekennzeichnet werden.

Der visuelle Vergleich zwischen der Anordnung punktueller Vorsorgewertüberschreitungen und dem 90. Perzentil aller Flächen einer Bodenausgangsgesteinseinheit zeigte eine starre und die tatsächlichen Überschreitungsverhältnisse verzerrende Situation. Gerade bei sehr großen Bodenausgangsgesteinseinheiten wird dieser Nachteil besonders augenfällig.

2.2.2 Kennwertübertragung des Maximalwertes

Um den Nachteil zu umgehen, dass alle Einzelflächen einer homogenen Raumeinheit denselben Kennwert bekommen, wurde eine Alternative getestet, die für jedes Einzelpolygon eine statistische Auswertung der hineinfallenden Punkte liefert. Die GIS-Funktionalität SPATIAL JOIN bietet eine solche Auswertungsmöglichkeit. Das Ergebnis ist ein neuer Vektordatensatz der Bodenausgangsgesteinskarte mit den statistischen Kennwerten Minimum, Maximum und Durchschnitt sowie Anzahl der Datenpunkte, die in jede der Einzelflächen fallen. Für die weitere Betrachtung wurde der Maximalwert herangezogen, der dem 90. Perzentil am nächsten kommt. Es wurde eine Flächenabfrage auf die einzelnen Bodenarten-Hauptgruppen und die Überschreitung des Vorsorgewertes bezüglich des Maximalwertes durchgeführt.

Auch hier zeigte sich, dass die Methode der Übertragung des Maximalwertes einer Einzelfläche den lokal sehr heterogenen Verhältnissen der Überschreitung der Vorsorgewerte nicht gerecht werden konnte.

3 Fazit

Die Methode der Kennwertübertragung kann zur Erstellung einer Übersicht der Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten nicht beitragen. Andere Methoden zur Übertragung von Punktinformationen in die Fläche unter Wahrung des Bezuges zum Bodenausgangsgestein müssen daher geprüft werden. Es bieten sich Interpolationsverfahren an, die aber bestimmte Voraussetzungen erfüllen müssen. Gezielte Nachbeprobungen werden unabdingbar sein. Ziel muss es sein, substratspezifische, lokal differenzierte Belastungsräume herauszuarbeiten.

Parallel zu der (GIS-technischen) Lösung muss ein vertieftes Verständnis der Überschreitungen von Grenzwerten in den Böden und Substraten Bayerns erarbeitet werden. Mit der Klärung der Ursachen sowohl geogener als auch anthropogener Grenzwertüberschreitungen werden auch weiterhin die Ingenieure des Bodenschutzes an den Wasserwirtschaftsämtern betraut sein.

4 Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV, 63 S.

Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen, des Innern, für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Gesundheit (2000): Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern – Bay-BodSchVwV, 35 S.

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2006): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung), Merkblatt 57. Essen, 45 S.

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007): Leitfaden Erstellung digitaler Bodenbelastungskarte zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden, Materialien zum Bodenschutz, 05/2007.

LABO (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz) (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StAA4-Sitzung. 29./30.01.2003. 58 S. und Anhang. 111 S.

LAGA (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil II Technische Regeln für die Verwertung, M20.

Großflächige stoffliche Bodenbelastungen im Freistaat Sachsen

Dr. Ingo Müller, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Zusammenfassung

Flächenrepräsentative Auswertungen zeigen durch Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten im Freistaat Sachsen Hinweise auf flächenhafte schädliche Bodenveränderungen in einer Ausdehnung von mehr als 100.000 ha. Für den Umgang mit diesen Flächen wurden für den Vollzug Beurteilungsmaßstäbe, Maßnahmenkonzepte und Instrumente zu deren Umsetzung entwickelt und bereitgestellt. Der Schwerpunkt zukünftiger Aufgaben liegt daher vorrangig in der Unterstützung der konsequenten Umsetzung im Vollzug und der Evaluierung von Maßnahmen im Sinne einer wirksamen und dauerhaften Gefahrenabwehr.

1 Einleitung

Der Bodenschutzvollzug steht in Gebieten mit flächenhaft auftretenden schadstoffbedingten Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen – im Folgenden auch als flächenhafte oder großflächige (stoffliche Boden-) Belastungen bezeichnet – vor einer großen Herausforderung. Die Anforderungen des Bodenschutzes im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung und das Ergreifen geeigneter Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist dabei auf einer Vielzahl von Grundstücken umzusetzen. Das betrifft ebenso die Anforderungen an den Umgang mit anfallendem Bodenmaterial. In vielen Fällen bietet hier eine gebietsbezogene Vorgehensweise erhebliche Vorteile gegenüber der Betrachtung zahlreicher Einzelfälle. Im Freistaat Sachsen stehen hierfür geeignete Instrumente und Methoden bereit, die nachfolgend beschrieben werden.

2 Großflächige Schadstoffbelastungen in Sachsen

Im Rahmen des Umweltmessnetzes des Freistaates Sachsen wurden Daten zu organischen und anorganischen Schadstoffen in Böden landesweit ausgewertet. Mit Hilfe eines gezielt angelegten Bodenmessprogramms konnten flächendeckend für Sachsen die Arsen- und Schwermetallbelastungen der Böden im Maßstab der bodenkundlichen Übersichtskarte (BÜK 400) dargestellt und beurteilt werden (Abb. 1). Für ausgewählte Belastungsgebiete wie

- Ehrenfriedersdorf,
- Freiberg – Brand-Erbisdorf – Halsbrücke,
- Schneeberg – Schwarzenberg – Johanngeorgenstadt,
- Dippoldiswalde – Altenberg sowie in
- Auengebieten (insbesondere des Muldesystems)

ist die Messstellendichte deutlich größer, so dass Abschätzungen der Schadstoffgehalte in Böden auf der Ebene mittelmaßstäbiger Karten möglich sind (Abb 1).

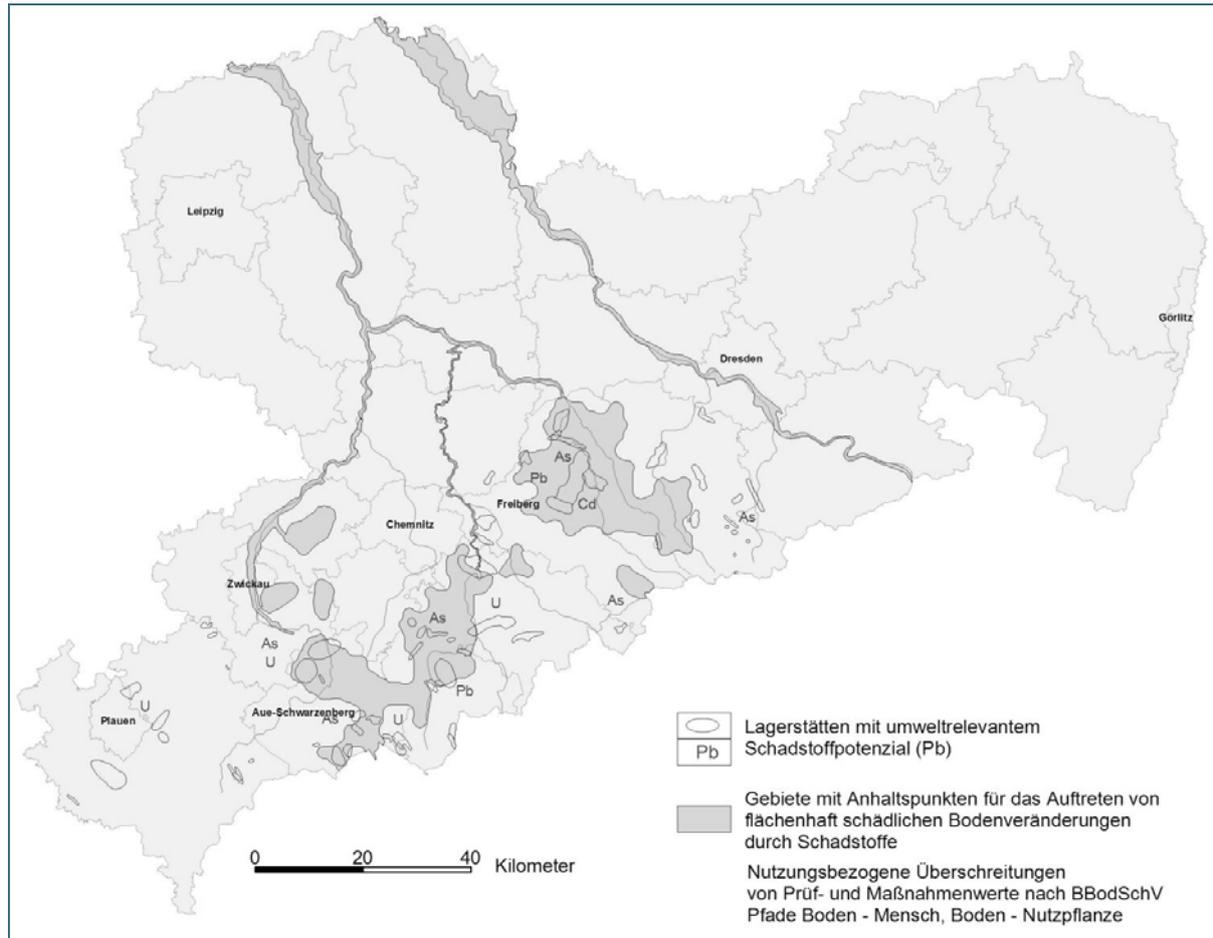


Abb. 1: Gebiete mit Hinweisen auf flächenhafte schädliche Bodenveränderungen im Freistaat Sachsen

Großflächig erhöhte Schadstoffgehalte bzw. flächenhaft auftretende schädliche Bodenveränderungen haben im Freistaat Sachsen verschiedene natur- und siedlungsbedingte Ursachen, die sich allerdings häufig überlagern. Je nach Ausgangsgestein können naturbedingt erhöhte Schwermetallgehalte im Boden auftreten. Zum Beispiel treten Cr, Cu und Ni bei basischen Gesteinen wie Diabas deutlich hervor. Ganz wesentlich werden die Schwermetallgehalte der Böden durch Vererzungen beeinflusst (insbesondere As, Cd, Co, Cu, Pb, Zn). Die Auswirkungen reichen durch diffuse geochemische Beeinflussungen der Nebengesteine und durch laterale Umlagerungsprozesse z. T. weit über die Erzgänge hinaus. Insbesondere im Erzgebirge sind die Schadstoffgehalte im Boden in Gebieten mit oberflächennahen Erzvorkommen zusätzlich durch bergbauliche Gewinnung und Verhüttungen der Erze erhöht, so dass hier geogene und siedlungsbedingte Ursachen nebeneinander stehen. Die Jahrhunderte währende Bergbau- und Industriegeschichte Sachsens hat darüber hinaus zu erhöhten Schadstoffgehalten in Böden geführt. Neben räumlich begrenzten Bodenbelastungen (Altstandorte, Halden) wurden großflächige stoffliche Bodenbeeinträchtigungen durch atmosphärische Immissionen, Staubabwehungen von Halden oder Schwebstoffablagerungen in Überschwemmungsgebieten / Auen verursacht. Zum Teil sind großflächig erhöhte Schadstoffgehalte auch auf die flächenhafte Ausbringung technogener Substrate wie Schlacken und Aschen zurückzuführen.

3 Instrumente und Methoden zum Umgang mit großflächigen Belastungen

Insbesondere in besiedelten Belastungsgebieten sind die Anforderungen des Bodenschutzrechtes an die Erfassung, Bewertung und ggf. an die Gefahrenabwehr auf einer großen Anzahl von Grundstücken umzusetzen. Der Umfang der dafür notwendigen Arbeiten macht es den zuständigen Bodenschutzbehörden nahezu unmöglich, diese Aufgaben grundstücksbezogen und mit Hilfe von Einzelanordnungen umzusetzen, da auf Grund der hohen Anzahl an betroffenen Grundstücken und der zumeist komplexen Wirkungspfadbetrachtungen der finanzielle und personelle Aufwand zu groß werden würde. Stattdessen ist eine gebietsbezogene Vorgehensweise sinnvoll, welche die erforderlichen Untersuchungs- und Bewertungsschritte sowie die Ableitung und Umsetzung von Bodenschutzmaßnahmen so strukturiert, dass eine Vielzahl räumlich zusammenhängender Grundstücke oder sogar ganze Gebiete bzw. Verwaltungseinheiten (z. B. Gemeindeflächen, Landkreise) zusammen betrachtet werden können. Vor dem Hintergrund der umfassenden Vollzugsaufgaben in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten bietet sich ein Untersuchungskonzept an, welches

- den notwendigen Aufwand mindert,
- als tolerabel anzusehende Unsicherheiten definiert,
- ausreichend belastbare Ergebnisse auch für nicht untersuchte Grundstücke liefert und
- auf diese Weise die Umsetzbarkeit und Vollzugssicherheit gewährleistet.

Ein Instrument für diesen Weg stellen digitale Bodenbelastungskarten (BBK) dar, die im Ergebnis eine flächenhafte Darstellung der Schadstoffgehalte liefern, an die sich auch planerische Auswertungen anschließen lassen, z. B. im Hinblick auf eine Abgrenzung von Flächen mit Vorsorgewertüberschreitung oder mit Verdacht auf schädliche Bodenveränderung. Sie stellen somit wertvolle Informationen für die Vorbereitung der Gefahrenabwehr und den vorsorgenden Bodenschutz dar und erleichtern Stellungnahmen für Planungs- und Genehmigungsverfahren. Eine BBK lässt sich insbesondere in folgenden Bereichen anwenden:

- Abgrenzung von Gebieten einheitlicher Hintergrundgehalte,
- Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, in denen die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschritten sind,
- Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten, die für die Verwertung von Abfällen nach BioAbfV und AbfKlärV geeignet sind,
- Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit „geogen/ naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt“ erhöhten Stoffgehalten nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG in Verbindung mit § 9 Abs. 2 und 3, § 12 Abs. 10 sowie Anhang 2 Nr. 4.1 BBodSchV,
- Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung im Einflussbereich von Emittenten (z. B. geplante Anlagen nach UVPG),
- Erfassung und Abgrenzung von schädlichen Bodenveränderungen nach § 9 SächsABG,
- Abwägungs- und Kennzeichnungsgrundlage für besonders belastete Böden im Rahmen der Bauleitplanung nach §§ 1, 5 und 9 BauG

Ein weiterer Vorteil der Erstellung einer BBK ist zudem, dass bei der Bearbeitung eine Fülle von Daten gesammelt und digital aufbereitet in einem geografischen Informationssystem verfügbar gemacht werden. Eine BBK umfasst damit den gesamten Bereich von der Recherche und Validierung der Daten über die Bereitstellung in einer Datenbank, die Arbeiten zur flächenhaften Darstellung mit den Ergebniskarten der geschätzten Stoffgehalte, ggf. nachfolgende weitere Bodenuntersuchungs- und

Überarbeitungsschritte bis zu den abschließenden Auswertekarten. In diesem Sinne ist die BBK als ein fortschreibungsfähiges und damit zukunftsfähiges Bodeninformationssystem auf kommunaler Ebene zu bezeichnen. Intensive Anwendungserfahrung zur Methodik der BBK liegt in Nordrhein-Westfalen vor (LUA 2000 und LANUV 2006). Seit 2007 besteht im Rahmen der Förderprogramms Boden- und Grundwasserschutz die Möglichkeit einer finanziellen Unterstützung für Kommunen und Kreise, die eine BBK erstellen wollen.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfULG) hat für die Erstellung von digitalen Bodenbelastungskarten in Sachsen die einzelnen Arbeitsschritte fachlich untersetzt (LfUG 2007). Den Ausgangspunkt einer BBK bilden Daten zu Stoffgehalten in Böden (Abb. 2). Dabei beschränken sich die Betrachtungen auf persistente Schadstoffe, von denen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen ausgehen können, z. B. Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ggf. polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Dioxine und Furane (PCDD/F). Neben Informationen zu Stoffgehalten oder spezifischen Belastungsursachen werden auch Daten zu Bodeneigenschaften und Bodenausgangssubstraten, der Bodennutzung und eines möglichen Überschwemmungseinflusses benötigt, um über den Weg der Bildung homogener Raumeinheiten begründete flächenhafte Aussagen treffen zu können. Für die Auswertung werden zudem Informationen zu punktuellen Belastungsursachen wie Altlasten, Emittenten, Halden und Erzgängen verwendet. Anhand der späteren Anwendungsbereiche ist zu entscheiden, ob eine BBK nur für den Oberboden (und ggf. auch für die organischen Auflagehorizonte im Forst) oder aber auch für den Unterboden zu erstellen ist.

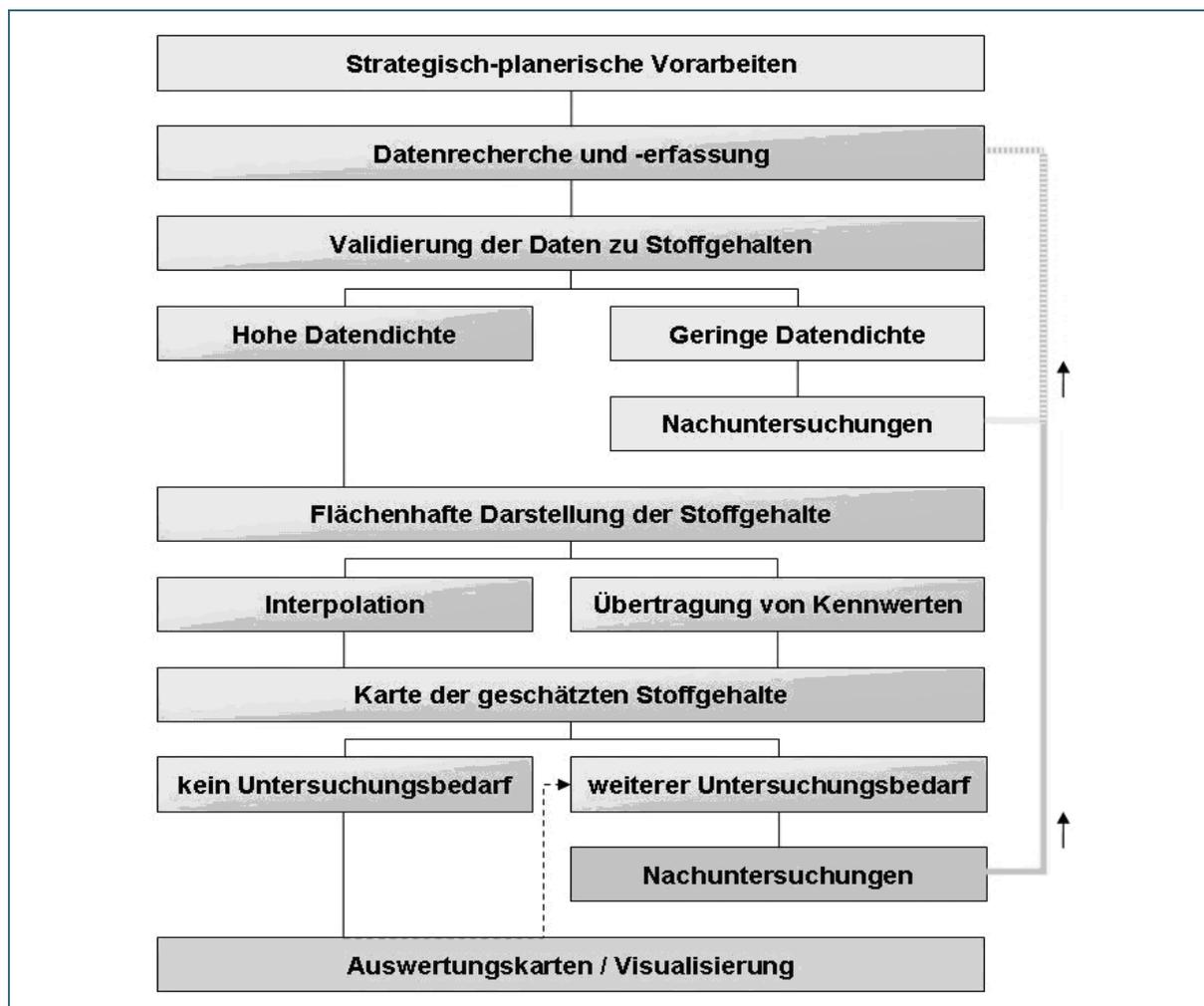


Abb. 2: Die Erstellung der BBK als iterativer Prozess

Bei der Erstellung von BBK ist methodisch zwischen dem Außenbereich mit weitgehend naturnah genutzten Böden (Acker, Grünland, Forst), den Überschwemmungsflächen und dem engeren Siedlungsbereich zu unterscheiden. Die Schadstoffsituation von Überschwemmungsbereichen ist in den meisten Fällen als ausgesprochen heterogen zu bezeichnen. Daher bedarf die räumliche Darstellung der Belastungssituation einer weit größeren Probenanzahl und oftmals einer anderen Herangehensweise bei der Übertragung von Punktdaten in die Fläche als in den Bereichen ohne den Einfluss der Überschwemmung. Im Siedlungsbereich sind aufgrund bodenschutzrechtlicher Anforderungen oder der Bauleitplanung andere Bodennutzungen von Bedeutung, wie z. B. Kinderspielflächen oder Wohngebiete. Zudem sind die Böden im Siedlungsbereich regelmäßig anthropogen überprägt, d.h. es finden sich z. B. die Folgen von Bodenumlagerung und Eintrag technogener Substrate. Dieses führt in aller Regel zu kleinräumig wechselnden Bodenverhältnissen, die eine darauf abgestimmte Methodik für den Siedlungsbereich erforderlich machen.

Ergeben sich im Zuge der Bearbeitung einer BBK Anhaltspunkte für das Vorliegen von Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten, finden sich weitergehende Hinweise zur Umsetzung des Bodenschutzes für diese Gebiete in den vom LfUG herausgegebenen Handlungsempfehlungen (LfUG 2006). Die rechtlichen Grundlagen für eine gebietsbezogene Vorgehensweise sind im Bodenschutzrecht verankert, wobei im Hinblick auf schadstoffbedingte Bodenbelastungen zwei verschiedene Gebietskategorien differenziert werden können:

- Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten nach § 12 Abs. 10 BBodSchV;
- Gebiete, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auf Grund erhöhter Schadstoffgehalte auftreten oder zu erwarten sind nach § 9 SächsABG (Bodenplanungsgebiete).

Dieser rechtliche Rahmen wird von den Handlungsempfehlungen des LfUG mit bodenschutzfachlichen Hilfestellungen ausgefüllt. Das Bodenschutzrecht schreibt eine Schrittfolge der Erfassung und Bewertung schädlicher Bodenveränderungen vor. Die damit verbundenen Anforderungen sind auch in Gebieten mit flächenhaft erhöhten Schadstoffgehalten zu erfüllen. Abbildung 3 zeigt die Hauptarbeitsschritte bei der gebietsbezogenen Bearbeitung des Untersuchungsablaufs.

Beim Vollzug des Bodenschutzes und insbesondere bei der Anordnung von Sanierungsmaßnahmen oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen stellt sich die Frage nach der Rechtssicherheit, wenn diese anhand von Schadstoffkarten begründet werden, die durch Interpolation von Punktdaten erarbeitet wurden. Messwerte erlauben eine unmittelbare Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung für den Ort der Probenahme. Interpolierte Schätzwerte bedürfen immer einer zusätzlichen geostatistischen Qualifizierung, um anhand der Schätzgüte die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Beurteilungswerten einordnen zu können. Im Einzelnen sind die Aussagemöglichkeiten auf der Basis von interpolierten Schätzwerten in Tabelle 1 aufgeführt.

Flächenrepräsentative Auswertungen der Informationen des Bodenmessprogramms haben ergeben, dass auf etwa 20 % der Grünlandflächen Sachsens der Maßnahmenwert für Arsen überschritten wird. Die Prüf- und Maßnahmenwerte für Blei und Cadmium werden auf ca. 8 % der Ackerflächen überschritten. Auf diesen belasteten Flächen besteht die Besorgnis eines Schadstoffübergangs in Nahrungs- und Futtermittel. Im Bereich von Siedlungsflächen bestehen zudem teilweise Gefahren hinsichtlich des Direktpfades Boden-Mensch. Die hier notwendigen gebietsbezogenen Maßnahmen können nicht von der zuständigen Bodenschutzbehörde allein abgeleitet und durchgesetzt werden. Dazu bedarf es einer intensiven Abstimmung mit anderen betroffenen Behörden insbesondere aus den Bereichen Gesundheits- bzw. Verbraucherschutz, Gewässerschutz, Land- und Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft und Bauleitplanung. Auch ist zu empfehlen, die Öffentlichkeit frühzeitig in den Entscheidungsprozess für eine gebietsbezogene Vorgehensweise einzubeziehen. Nur so lassen sich eine breite Akzeptanz und eine zuverlässige Umsetzung der gebietsbezogenen Maßnahmen sicherstellen.

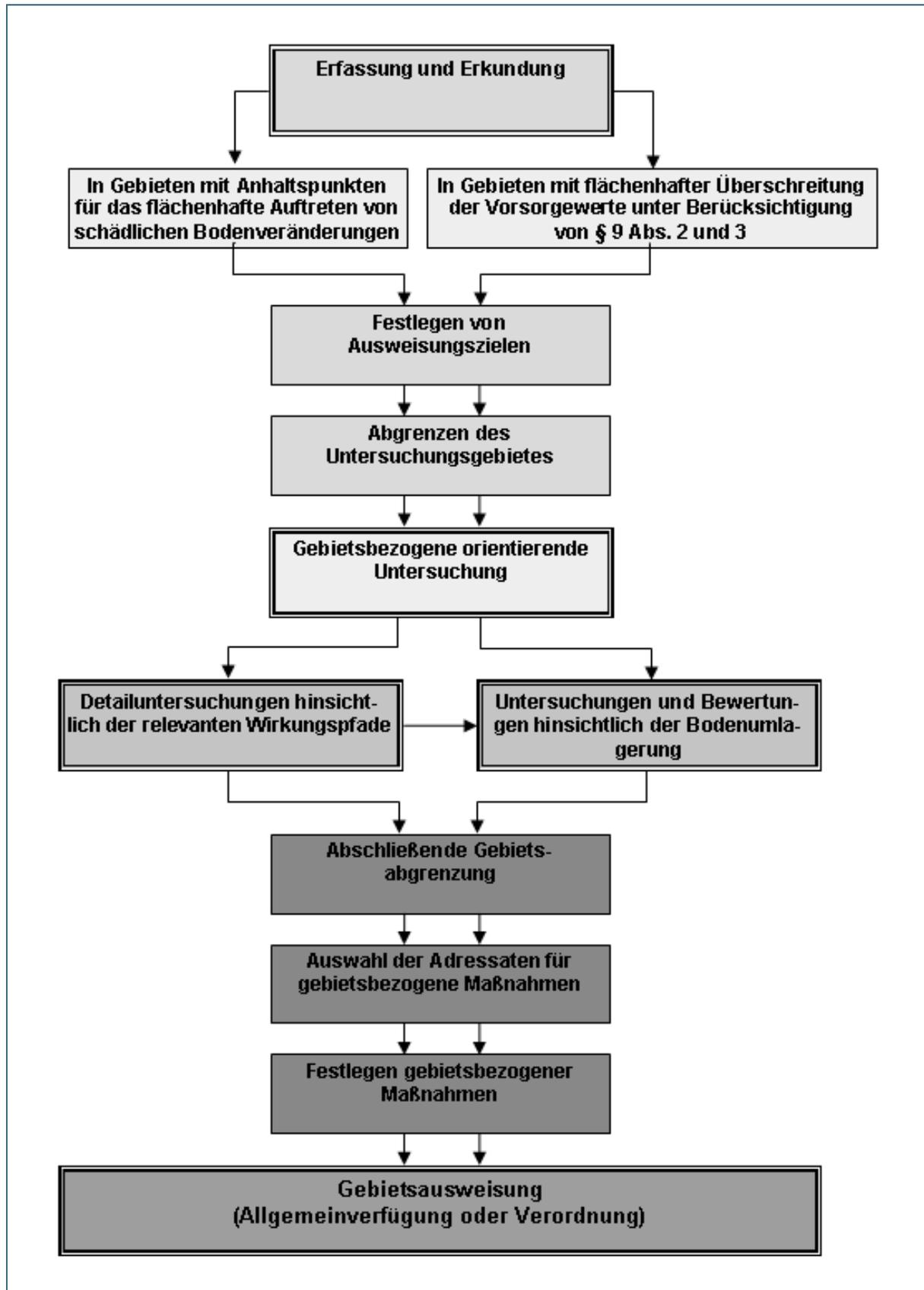


Abb. 3: Ablaufschema bei der gebietsbezogenen Vorgehensweise

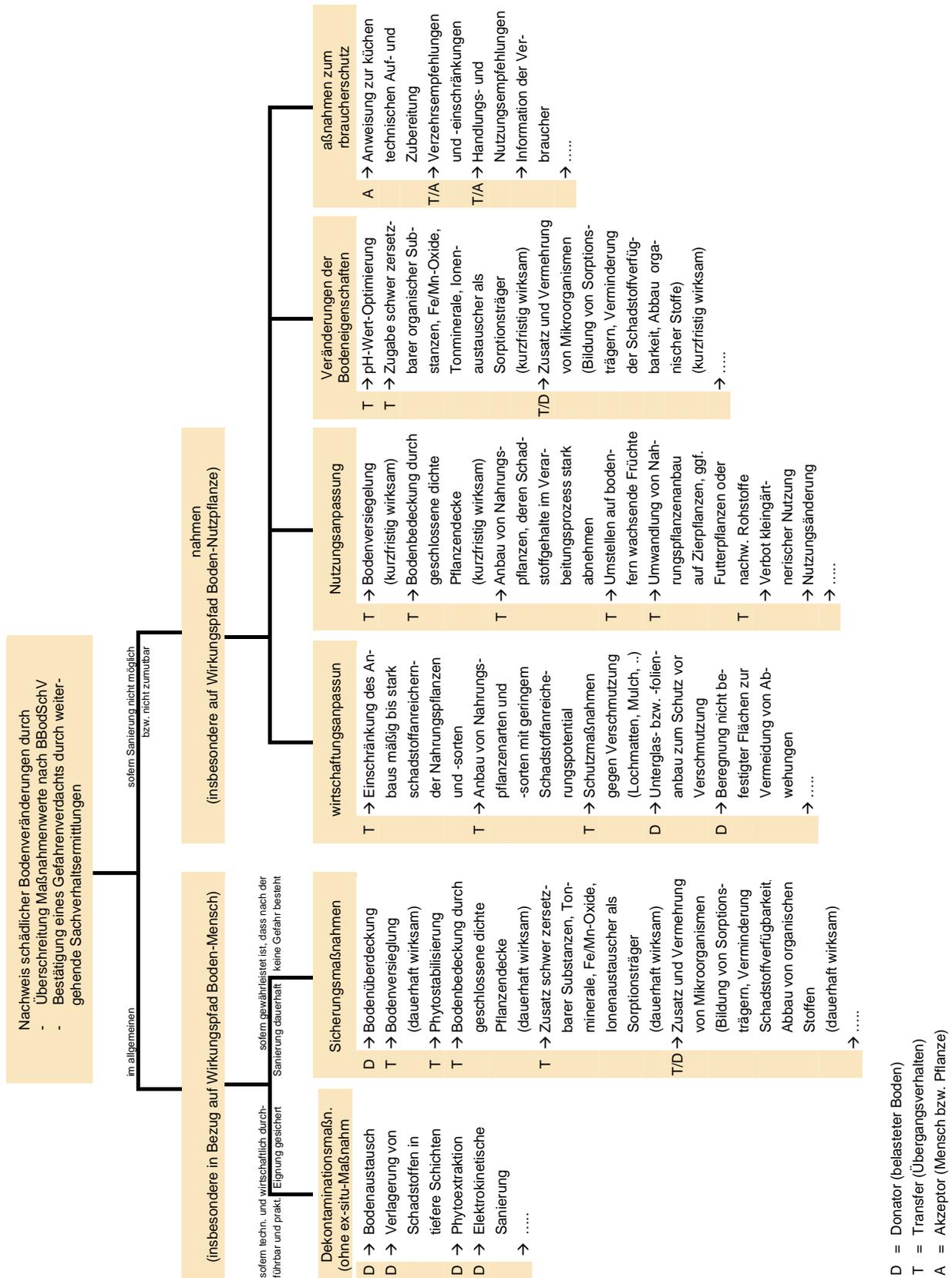
Tab. 1: Bodenschutzrechtliche Aussagemöglichkeiten auf der Basis von Schätzwerten

Bodendaten	Aussagemöglichkeit	Rechtlicher Bezug
Schätzwerte > Vorsorgewerte in Verbindung mit einer statistischen oder geostatistischen Bewertung	Beim Auf- und Einbringen von Materialien Untersuchung im Rahmen der Umsetzung von § 12 BBodSchV; bei flächenhaften Überschreitungen der Vorsorgewerte ggf. Befreiung von Untersuchungspflichten	§ 12 Abs. 3 und ggf. § 12 Abs. 10 BBodSchV
Schätzwerte > Prüf-/ Maßnahmenwerte ohne geostatistische Bewertung	Anhaltspunkte → Orientierende Untersuchung	§ 9 Abs. 1 Satz 1 BBodSchG i.V.m. § 3 Abs. 3 BBodSchV
Schätzwerte > Prüfwerte in Verbindung mit einer statistischen oder geostatistischen Bewertung (Schätzfehler)	Konkrete Anhaltspunkte → Detailuntersuchung: Gebietsbezogenes Beurteilen der Gefahren	§§ 8 Abs. 1 Nr. 1 und 2 sowie 9 Abs. 1 Sätze 1-3 BBodSchG i.V.m. § 3 Abs. 4 BBodSchV
Schätzwerte > gebietsbezogene Beurteilungswerte (= Prüfwerte korrigiert um Verfügbarkeit)* oder > Maßnahmenwerte in Verbindung mit einer zusätzlichen bodenschutzfachlichen Qualifizierung der Schätzwerte wie z.B. einer geostatistischen Bewertung	In der Regel unmittelbares Ableiten von Sanierungs- bzw. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	§ 10 Abs. 1 BBodSchG i.V.m. § 4 Abs. 4 BBodSchV

Beim Vorliegen von schädlichen Bodenveränderungen und der Feststellung einer Gefahrensituation sind in einem angemessenen Zeitrahmen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen, wobei entweder Sanierungsmaßnahmen oder aber Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Frage kommen. Im Grundsatz beinhaltet § 4 Abs. 3 BBodSchG die Verpflichtung, dass die Gefahrenabwehr in erster Linie mit Hilfe von Sanierungsmaßnahmen zu bewerkstelligen ist. Erst wenn Sanierungsmaßnahmen nicht möglich oder aber unzumutbar sind, können stattdessen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen ergriffen werden. Im Falle des gebietsbezogenen Bodenschutzes stellt sich die Frage, ob Sanierungsmaßnahmen großflächig durchgeführt werden können. In der Regel werden auf Grund der deutlich höheren Kosten und des deutlich höheren technischen Aufwands Sanierungsmaßnahmen bei flächenhaften schädlichen Bodenveränderungen nicht verhältnismäßig sein. Stattdessen wird der Schwerpunkt möglicher Maßnahmen vorrangig im Bereich der Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen liegen. Die nachstehenden Ausführungen in Tabelle 2 sollen die in diesem Zusammenhang in Frage kommenden Maßnahmen beschreiben, ohne dem Anspruch auf Vollständigkeit genügen zu wollen.

Vertiefende Untersuchungen in belasteten Regionen Sachsen haben gezeigt, dass der Schadstoffübergang in den Aufwuchs von Grünlandstandorten mit hoher Arsenbelastung im Boden vorrangig auf die Verschmutzung mit anhaftendem Bodenmaterial zurückzuführen ist. Auf belasteten Ackerstandorten ist insbesondere die Aufnahme von Cadmium durch Getreide bedeutsam.

Tab. 2: Maßnahmen zur Gefahrenabwehr (Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Nutz-pflanze) in Anlehnung an MARSCHNER & JANNUSCH 2002 und Müller 2003



Aus diesen Ergebnissen wurden von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) geeignete Maßnahmen zur Vermeidung des Schadstoffübergangs für Acker- und Grünlandnutzung abgeleitet und empfohlen (LfL, 2006). Diese regelmäßig aktualisierten Empfehlungen beinhalten z. B.:

- Vor-Ernte-Untersuchungen von Getreide, um die Verwendung Cd-belasteter Partien für Nutzungszwecke auszuschließen,
- Optimierung des pH-Wertes durch Kalkung,
- Auswahl bestimmter Sorten von Weizen- und Sommergerste, die eine vergleichsweise geringe Cd-Aufnahme zeigen,
- Einsatz von verschmutzungsarmen Verfahren und Techniken der Grünlandnutzung.

In den Fällen, in denen die vorgenannten Maßnahmen nicht ausreichen, sind weitergehende Einschränkungen, bis hin zum Ausstieg aus der Nahrungs- und Futtermittelproduktion erforderlich.

4 Ausblick

Flächenrepräsentative Auswertungen zeigen durch Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten im Freistaat Sachsen Hinweise auf flächenhafte schädliche Bodenveränderungen in einer Ausdehnung von mehr als 100.000 ha. Für den Umgang mit diesen belasteten Flächen wurden für den Vollzug Beurteilungsmaßstäbe, Maßnahmenkonzepte und Instrumente zu deren Umsetzung entwickelt und bereitgestellt. Es ist zudem geplant, die Erstellung von BBK in Sachsen in die Förderrichtlinie Abfall, Boden- und Grundwasserschutz zu integrieren und damit zuwendungsfähig zu machen. Langfristig müssen die fachlich fundierten Vorgaben des Landesentwicklungsplans (LEP 2003) hinsichtlich schadstoffbelasteter Flächen konsequent Eingang in die konkretisierende Planung auf regionaler bis kommunaler Ebene finden. Die Maßnahmen der Gefahrenabwehr des Bodenschutzes müssen auf den Flächen auch wirksam und dauerhaft angewendet werden, um ein abgestimmtes Handeln mit den Bereichen der Gesundheitsvorsorge und des Lebens- und Futtermittelrechts zu gewährleisten. Daher kann eine Lösung der Probleme großflächiger stofflicher Bodenbelastung nur mit Hilfe eines interdisziplinären Ansatzes und unter Einbezug aller Beteiligten erarbeitet und umgesetzt werden. Der Schwerpunkt zukünftiger Aufgaben liegt künftig vorrangig in der Förderung der konsequenten Umsetzung und der Evaluierung von ergriffenen Maßnahmen der Gefahrenabwehr.

5 Literatur

LEP (2003): Landesentwicklungsplan des Freistaates Sachsen 2003.

LFUG (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten.- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden 2006; im Internetangebot des LfUG verfügbar.

LFUG (2007): Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden (Leitfaden).- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden 2007; im Internetangebot des LfULG verfügbar.

LFL (2006): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden.- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden, Mai 2006; im Internetangebot des LfULG verfügbar.

Digitale Bodenbelastungskarten zur Beschreibung der Schadstoffsituation in Böden Nordrhein-Westfalens

Heinz Neite und Jörg Leisner-Saab, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

1 Einleitung

Nordrhein-Westfalen (NRW) weist aufgrund seiner langjährigen Industriegeschichte und mit seiner hohen Siedlungs- und Verkehrsdichte zum Teil erhebliche Belastungen der Böden mit Schadstoffen auf. Neben den punktuellen, d. h. räumlich eng begrenzten „Altlasten“ an ehemaligen Betriebsstandorten oder Altablagerungen liegen in vielen Bereichen des Landes auch mehr oder weniger flächenhafte Schadstoffanreicherungen in Böden vor. Diese wurden u. a. durch langjährige Einträge aus Industrieprozessen wie insbesondere der Metallverhüttung und -verarbeitung, aus Kraftwerken, Hausbrand und Straßenverkehr oder auch durch die unsachgemäße Verwertung von Abfällen (z. B. Klärschlamm) hervorgerufen. Dabei sind Schadstoffe wie Schwermetalle und persistente organische Stoffe (z.B. PAK) vorrangig relevant, weil sie sich langfristig in Böden anreichern und so die Bodenfunktionen beeinträchtigen können.

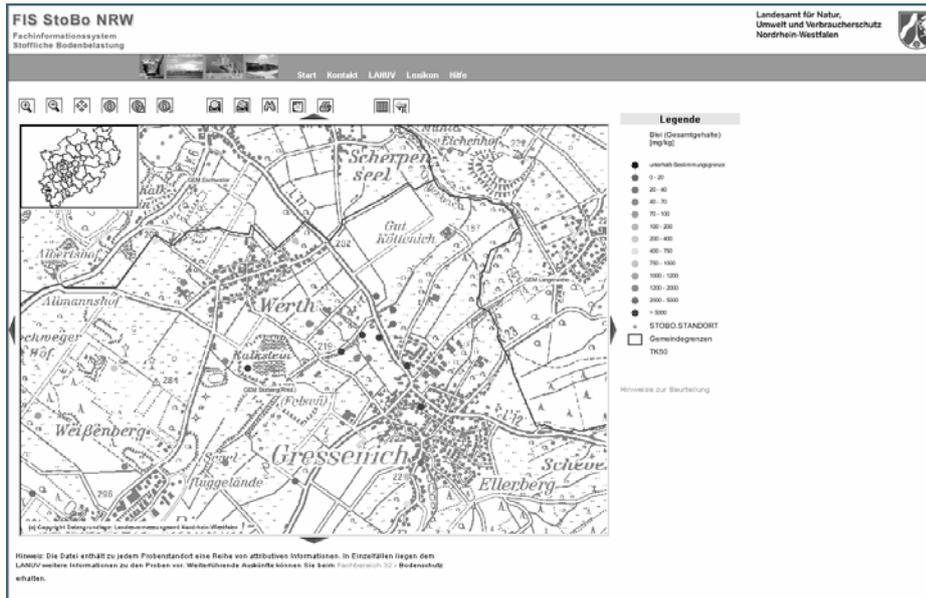
Neben der systematischen Erfassung und Bewertung von Altlastenverdachtsflächen ist es daher von großer Bedeutung, auch solche Gebiete zu identifizieren, in denen die Böden eher flächenhaft höhere Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Diese Informationen können dann Planern und Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt werden, um Gefährdungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt zu vermeiden. Das Wissen um mögliche Stoffbelastungen schafft somit erst die Voraussetzungen, Gefährdungen zu erkennen und Maßnahmen in die Wege zu leiten.

2 Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung

Bereits seit den achtziger Jahren begannen in NRW Vorbereitungen zum Aufbau eines landesweiten Bodeninformationssystems, das im Jahre 2000 im nordrhein-westfälischen Landesbodenschutzgesetz verankert wurde (ANONYM, 2000). Einen Schwerpunkt des Bodeninformationssystems stellt das im Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW aufgebaute und geführte Fachinformationssystem „Stoffliche Bodenbelastung“ (FIS StoBo) dar (LUA, 2004). Das FIS StoBo umfasst zurzeit Informationen zu den Schadstoffgehalten von ca. 60.000 Bodenproben, die laufend ergänzt werden. Das FIS StoBo bildet die zentrale Datenbasis für Informationen über Stoffgehalte in den Böden Nordrhein-Westfalens. Als web-basiertes Auskunftssystem bietet es den Behörden des Landes Unterstützung bei fachlichen Entscheidungen und bei der Bearbeitung von Fragen zur stofflichen Bodenbelastung. Darüber hinaus steht es über das Internet auch der interessierten Öffentlichkeit als Informationsquelle zur Verfügung. Im FIS StoBo werden insbesondere folgende Funktionen angeboten:

- Überblick über die Standorte von Bodenuntersuchungen,
- Information über die Schadstoffgehalte ausgewählter Proben,
- kartographische oder tabellarische Darstellung der selektierten Daten und
- Download der ausgewählten Daten zur Weiterverarbeitung.

Dabei kann die Auswahl der Daten individuell über einen Recherchebaustein erfolgen. Häufig benötigte Auswertungen des FIS StoBo werden inzwischen auch über Geodienste angeboten.



Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung – Ergebnis einer Datenrecherche

3 Hintergrundwerte für Oberböden

Hintergrundwerte repräsentieren allgemein verbreitete Gehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe für bestimmte räumliche Einheiten, die über die Flächennutzung, die Siedlungsstruktur und das Bodenausgangsgestein definiert sind. Sie bezeichnen üblicherweise mit dem 90. Perzentil die Obergrenze der allgemein verbreiteten Gehalte und können u.a. für die Identifizierung spezifisch belasteter Böden herangezogen werden. Die Hintergrundwerte für Schadstoffe in Oberböden Nordrhein-Westfalens wurden aus den Daten des FIS StoBo berechnet (LUA, 2003). Hintergrundwerte liegen für die anorganischen Schadstoffe Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium und Zink sowie für die organischen Stoffe Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mit dem Leitparameter Benzo[a]pyren, für Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) vor.

4 Bodenbelastungskarten

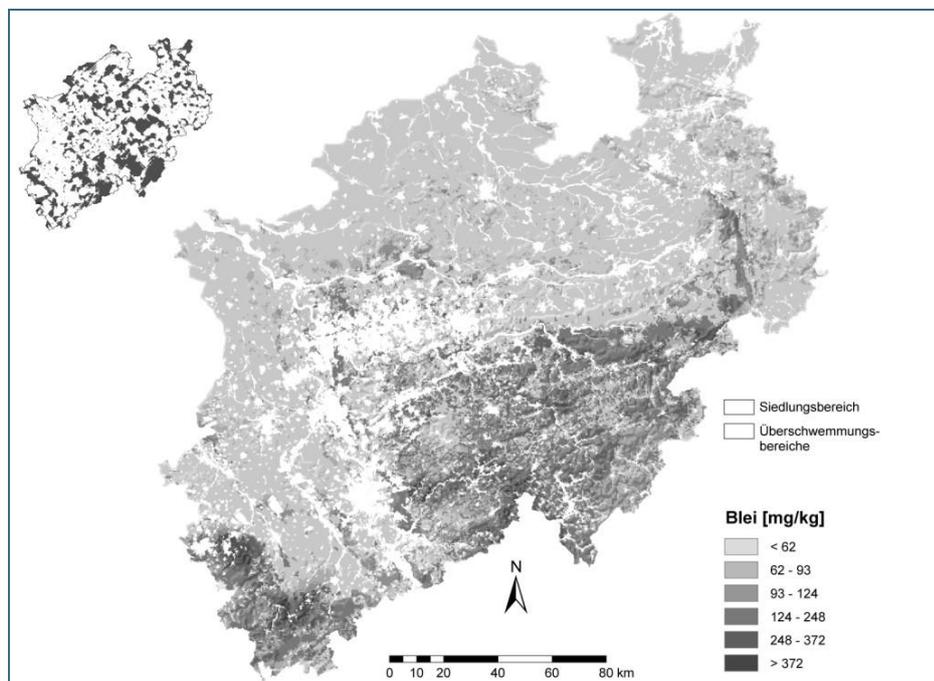
Im FIS StoBo liegen die Informationen als Punktangaben vor, die repräsentativ für die jeweils beprobten Einzelflächen sind. Rückschlüsse auf nicht gemessene benachbarte Flächen und damit auf die flächenhafte Verbreitung der Stoffe sind aus diesen Daten nur bedingt möglich. Für eine Vielzahl von Planungsfragen ist jedoch auch die räumliche Verteilung zu erwartender Konzentrationen von Interesse. Es stehen mittlerweile geostatistische Verfahren zur Verfügung (z.B. Kriging), mit denen unter den nachfolgend genannten Voraussetzungen und Auswertungen eine Übertragung von Punktinformationen in die Fläche ermöglicht wird.

- Es liegen auf der Grundlage gebietsbezogener repräsentativer Untersuchungen Messwerte auf Einzelgrundstücken vor.
- Zur Darstellung der räumlich zusammenhängenden, bodenfunktionalen Problemlage wird eine fachlich fundierte Berücksichtigung der Haupteinflussfaktoren auf Schadstoffgehalte im betrachteten Gebiet durchgeführt.

- Statistische und geostatistische Anforderungen an die Übertragung von einzelnen Messwerten auf die Fläche wurden berücksichtigt.
- Es erfolgte eine Auswertung und Darstellung der Aussagesicherheit der interpolierten Messwerte.

4.1 Karten der Schwermetallgehalte in Oberböden Nordrhein-Westfalens

Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen und Auswertungen wurden die als Punktdaten im FIS StoBo vorliegenden Informationen über Schwermetallgehalte zur Erstellung landesweiter Karten der Schwermetallbelastung der Oberböden Nordrhein-Westfalens außerhalb von Siedlungsgebieten genutzt (LUA, 2005). Die entwickelten landesweiten Übersichtskarten sind in erster Linie als Beitrag zur Beschreibung der Umweltsituation in Nordrhein-Westfalen zu verstehen. Aus dem zwangsläufig sehr kleinen Maßstab (ca. 1: 200.000), in dem sie erstellt wurden, ergibt sich, dass sie selbstverständlich nicht direkt für Vollzugsaufgaben der Bodenschutzbehörden geeignet sein können. Aus den Übersichtskarten können jedoch potenzielle Belastungsgebiete erkannt werden, in denen detailliertere Untersuchungen vorrangig sind. Daneben lassen sich aus den Karten bestehende Datenlücken erkennen, die sich in Gebieten mit hoher Schätzunsicherheit zeigen.



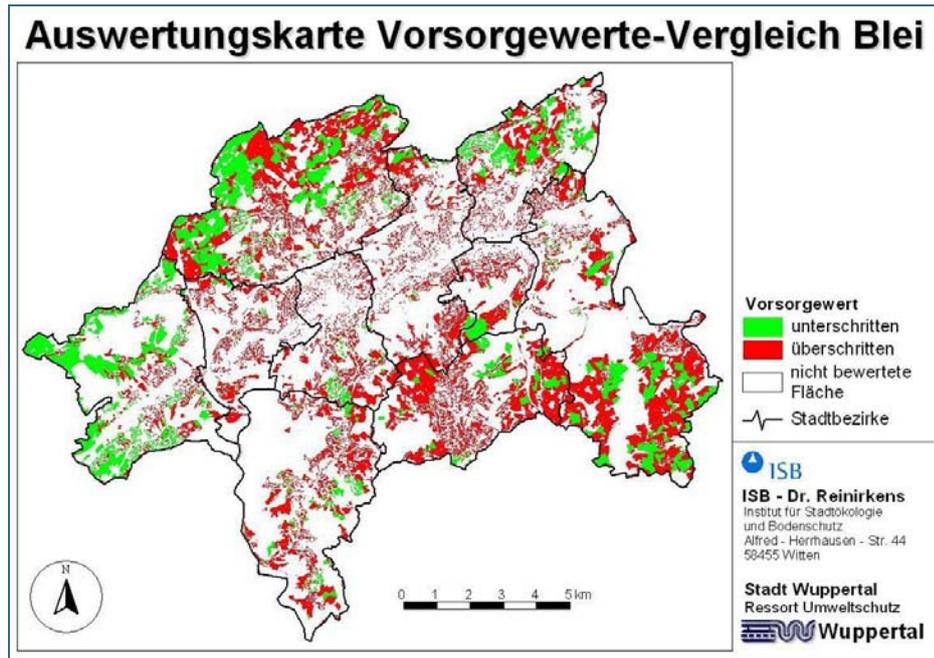
Geschätzte Bleigehalte der Oberböden Nordrhein-Westfalens (Bereiche unsicherer Aussage = markierte Flächen in der Übersichtskarte links oben)

4.2 Kommunale digitale Bodenbelastungskarten

Eine deutlich höhere Aussagekraft als die landesweiten Karten weisen die für das Gebiet eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt erstellten kommunalen digitalen Bodenbelastungskarten auf. Für die Erstellung einer kommunalen Bodenbelastungskarte in **Außenbereichen**, d. h. für naturnahe Böden mit weitgehend ungestörtem Profilaufbau der Nutzungen Acker, Grünland und Wald, wird eine vom LANUV NRW entwickelte einheitliche Methode verwendet (LUA, 2000). Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der Regel im Maßstab 1:50.000. In innerstädtischen **Siedlungsbereichen** sind im Vergleich zum Außenbereich andere Bodennutzungen, wie Wohngebiete, Kleingärten, Park- und Freizeitanlagen oder Kinderspielflächen von Bedeutung. Die Böden im Siedlungsbereich sind häufig überprägt und weisen sehr heterogene Bodenverhältnisse auf. Die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten für den Siedlungsbereich erfordert daher weit differenziertere Methoden und Werkzeuge, für

die ebenfalls eine Arbeitshilfe durch das LANUV NRW bereitgestellt wird (LANUV, 2007). Als Darstellungsmaßstab wird ein Bereich von 1:20.000 bis 1:5.000 verwendet. Insgesamt liegen kommunale Bodenbelastungskarten zurzeit für fast die Hälfte der Landesfläche in Nordrhein-Westfalen vor.

Die Ergebnisse digitaler Bodenbelastungskarten können mit den Hintergrund-, Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV verglichen werden. Sie liefern damit insbesondere den Unteren Bodenschutzbehörden wichtige Erkenntnisse sowohl für die Gefahrenabwehr als auch für den vorsorgenden Bodenschutz. Stellungnahmen für Planungs- und Genehmigungsverfahren werden dadurch erleichtert. Die bisherigen Erfahrungen im Umgang mit Bodenbelastungskarten zeigen, dass ein systematischer Umgang mit vorhandenen Bodenbelastungen den Vollzug erheblich erleichtern kann.

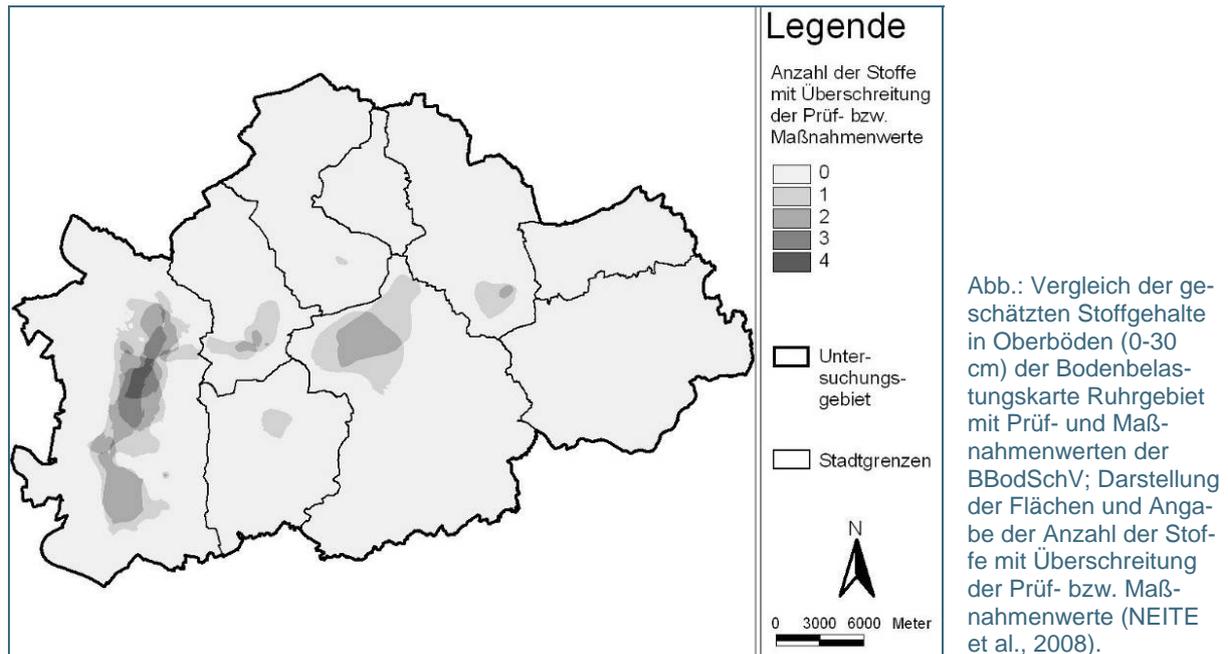


Digitale Bodenbelastungskarte der Stadt Wuppertal; Vergleich der geschätzten Blei-gehalte mit den Vorsorgewerten der BBodSchV

Bodenbelastungskarten können im Gegensatz zu einem aufwändigen Vorgehen im Einzelfall die notwendigen Grundlagen für ein gebietsbezogenes Handlungskonzept zur Gefahrenabwehr bei flächenhaften Bodenbelastungen liefern und schaffen damit auch eine erhöhte Sicherheit bei planerischen Entscheidungen auf Flächen mit einem Belastungsverdacht (vgl. MUNLV, 2004).

4.3 Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet

Eine regionale flächenhafte Abschätzung der Stoffgehalte von Oberböden wurde für das Ruhrgebiet durchgeführt (LANUV, 2008, NEITE et al., 2008). Dabei wurden nur Böden betrachtet, die im Wesentlichen durch die jahrzehntelange Immissionsbelastung im Untersuchungsgebiet beeinflusst wurden. Für die Auswertungen wurden Acker- und Grünlandflächen im Außenbereich sowie Grünflächen und Gärten im Siedlungsbereich berücksichtigt. Die im Untersuchungsgebiet verfügbaren Punktdaten wurden nach dem Kriging-Verfahren interpoliert und flächenhaft dargestellt. Die geschätzten Schwermetall- und Benzo(a)pyren-Gehalte der Oberböden wurden mit den Vorsorge-, sowie Prüf- und Maßnahmenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung verglichen.



Auf Grundlage der Daten und Ergebnisse der BBK Ruhrgebiet wurden zwei gesonderte Auswertungen durchgeführt:

- für das europäische Forschungsprojekt ENVASSO wurde der Indikator „Schwermetallgehalte in Böden“ getestet und
- für den Regionalen Flächennutzungsplan der Städteregion Ruhr wurde eine Auswertungskarte erstellt, in der die geschätzten Stoffgehalte der Böden drei Zonen unterschiedlicher Bodenbelastung zugeordnet wurden.

4.4 Grenzüberschreitende Bodenbelastungskarte

In einem deutsch-niederländischen Gemeinschaftsprojekt wurden grenzüberschreitende Bodenbelastungskarten für den Kreis Borken (Nordrhein-Westfalen) sowie die Regionen Achterhoek (Provinz Gelderland) und Twente (Provinz Overijssel) mit zwei verschiedenen Verfahren erstellt. In dem Projekt wurden flächenhafte Darstellungen der Schwermetallgehalte in Oberböden mit der NRW-Methode (LUA, 2000) und einer niederländischen Methode erzeugt und miteinander verglichen. Dabei wurden ausschließlich bereits vorhandene Daten genutzt. Das Projekt lieferte folgende wesentliche Ergebnisse (siehe auch: http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/d_n_belastkarte.htm):

- Mit beiden Methoden wurden ähnliche flächenhafte Darstellungen der Schwermetallgehalte in Oberböden erzeugt.
- Abweichungen in den Darstellungen treten nur kleinräumig auf. Dies betrifft vor allem Flächen mit extremen Bodenverhältnissen (z.B. bei hohen pH-Werten oder Humusgehalten der Böden).
- Die Schätzgüte der Ergebnisse ist im niederländischen Untersuchungsgebiet deutlich niedriger. Dies ist auf die geringere Datendichte zurückzuführen.
- Unterschiede zwischen dem deutschen und niederländischen Untersuchungsgebiet („Grenzeffekte“) treten nur in der Darstellung der Schätzgüte (oder Schätzvarianzen) auf.

5 Fazit

Das FIS StoBo hat sich in Nordrhein-Westfalen als wichtige Datenbasis für zentrale Auswertungen zu Schadstoffgehalten in Böden erwiesen. Je nach Fragestellung können die Daten als alleinige Grundlage für übergreifende Anwendungen dienen oder durch zusätzliche Erhebungen ergänzt werden.

Die verschiedenen in Nordrhein-Westfalen angebotenen Methoden zur Erstellung von Bodenbelastungskarten haben sich als geeignete und flexibel anzuwendende Instrumente erwiesen, mit denen die Schadstoffsituation der Böden flächenhaft dargestellt werden kann.

6 Literatur

ANONYM (2000): Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Nordrhein-Westfalen vom 30. Mai 2000. Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LBodSchG). Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 29, S. 439-444.

Link: <http://igsvtu.lua.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50201.pdf>

LUA (2000): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten Teil 1: Außenbereiche. Merkblätter 24. Hrsg.: Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen.

Link: <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk24/merk24start.htm>

LUA (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Oberböden Nordrhein-Westfalens Auswertung aus dem Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo). Hrsg.: Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen.

Link: http://www.lanuv.nrw.de/boden/bodenschutz/HGW_Internet_2003-3.pdf

LUA (2004): Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo).

Link: <http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/fisstobo.html>

LUA (2005): Karten der Schwermetallgehalte in Oberböden Nordrhein-Westfalens. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 21; Essen

Link: http://www.lanuv.nrw.de/boden/bodenschutz/HGW_Internet_2003-3.pdf

LANUV (2007): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten Teil II: Siedlungsbereiche. LANUV Arbeitsblatt 1. 107 S., Recklinghausen.

Link: <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/arbeitsblatt/arbla1/arbla1start.htm>

LANUV (2008): Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet. LANUV-Fachbericht 7. 28 S. Recklinghausen.

Link: <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe7/fabe7start.htm>

MUNLV (2004): Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Link: http://www.munlv.nrw.de/umwelt/bodenschutz_altlasten/bodenschutz/leitfaden_bodenschutz/index.php

NEITE, H., LEISNER-SAABER, J. & G. KRÜGER (2008): Bodenbelastungskarte des Ruhrgebietes. Bodenschutz, Heft 2/ 2008. S. 55-58.

Hintergrundwerte für Spurenelemente in Böden aus bundesweiter Sicht – aktueller Stand und Defizite vor dem Hintergrund der Novellierung der BBodSchV –

Dr. Jens Utermann, M. Fuchs, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Abstract: *Based on some 21.000 plot data background values for As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Tl, U, V could be determined in top-soils, sub-soils and substratum at a Germany-wide scale. In dependence of the element and the sample size about 60 % up to 95 % of the area to be evaluated throughout Germany could be covered with representative background values. For direct comparison of the background values referred to soil parent material with precautionary values stratified according to soil type classes, the background values were related to the soil texture classes dominating within the respective parent material units. In case of As & Tl as the most important elements in context with the revision of the German soil protection ordinance, the resulting ranges of 50 and 90 percentile values turned out to be a reliable estimate of the level of element contents in soils of rural areas despite significantly varying sample sizes. The compilation of representative background values throughout Germany for all elements under consideration requires further methodologically harmonized investigations.*

Zusammenfassung: *Auf der Basis von ca. 21.000 Punktinformationen wurden für As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Tl, U, V erstmals im bundesweiten Maßstab Hintergrundwerte in Oberböden, Unterböden und Untergrund abgeleitet. Je nach Element bzw. Stichprobenumfang können für ca. 60 % bis zu 95 % der zu belegenden Fläche Deutschlands repräsentative Hintergrundwerte ausgewiesen werden. Für einen direkten Vergleich mit den nach Bodenarten differenzierten Vorsorgewerte wurden die auf Bodenausgangsgesteine bezogenen Hintergrundwerte den in den Ausgangsgesteinsgruppen jeweils dominierenden Bodenarten zugewiesen. Die resultierenden Spannen von 50. und 90. Perzentilwerte erlauben für die beiden im Hinblick auf eine Novellierung der BBodSchV prioritären Elemente As & Tl trotz sehr unterschiedlicher Datenumfänge eine Einschätzung des typischen Wertenniveaus in Böden des ländlichen Raumes. Für flächendeckende Hintergrundwerte im bundesweiten Maßstab sind weitere, methodisch harmonisierte Erhebungen erforderlich.*

Keywords: trace elements, background values, precautionary values

Schlagworte: Spurenelemente, Hintergrundwerte, Vorsorgewerte

1 Einleitung

Mit dem Inkrafttreten des Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) (BGBl. I 1998) werden in Deutschland auch Aspekte des vorsorgenden Bodenschutzes geregelt. In Anhang 2 der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (BGBl. I 1999) sind für ausgewählte anorganische und organische Schadstoffe Vorsorgewerte als materielle Maßstäbe des vorsorgenden stofflichen Bodenschutzes festgelegt. Die Vorsorgewerte sind grundsätzlich unter ökotoxikologischen Gesichtspunkten abgeleitet und mit Hintergrundwerten (HGW) für diffus-ubiquitär belastete Böden abgeglichen (BACHMANN ET AL. 1998).

Im Falle der anorganischen Schadstoffe liegen zurzeit Vorsorgewerte für Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn vor. Auch unter Bezug auf die im Zusammenhang mit der Zustimmung zur BBodSchV formulierten EntschlieÙung des Bundesrates (BR. Drs. 244/99) wurden die Vorsorgewerte in den zurückliegenden

Jahren aufgrund der bisherigen Erfahrungen und des fortgeschrittenen wissenschaftlichen Kenntnisstandes überprüft (LABO 2003). Im Rahmen eines UBA-geförderten F&E-Vorhabens wurden aus bundesweiter Sicht ergänzend Hintergrundwerte auch für Unterböden und den Untergrund abgeleitet und mit den Vorsorgewerten abgeglichen (UTERMANN ET AL. 2003).

Im Vorfeld der anstehenden Aktualisierung der BBodSchV hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die BGR gebeten, für weitere Spurenelemente (Arsen, Antimon, Beryllium, Kobalt, Molybdän, Selen, Thallium, Uran, Vanadium) aus länderübergreifender Sicht Hintergrundwerte abzuleiten. Das methodische Vorgehen sollte sich an den in mehreren F&E-Vorhaben erarbeiteten und erprobten Eckpunkten zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundwerten im bundesweiten Maßstab orientieren (UTERMANN ET AL. 1999, 2003). Da Hintergrundwerte für Spurenelemente in erster Priorität auf Bodenausgangsgesteine bezogen (LABO 2003) und Vorsorgewerte nach Bodenarten (-hauptgruppen) differenziert werden, sollte zudem ein Zuweisungsschlüssel erarbeitet werden, der den Bezug der HGW auf Bodenarten und somit einen direkten Vergleich zu Vorsorgewerten ermöglicht.

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse dieser Auswertungen vorgestellt und bestehende Defizite im Hinblick auf die laufenden Arbeiten zur Novellierung der BBodSchV dargelegt.

2 Datengrundlagen & Methodisches Vorgehen

Als Datengrundlage dienten ca. 21.000 Punkt-/Profilinformationen, die in wesentlichen Teilen von den Daten haltenden Institutionen der Länder über die Verteiler der Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) und der BGR sowie des ständigen Ausschusses Vorsorgender Bodenschutz (BOVA) der LABO bereitgestellt wurden. Der erforderliche Mindestdatensatz umfasste Angaben zur i) Standort- und Profilkennzeichnung (Koordinaten, pedologisch/lithologische Kennzeichnung, insb. Bodenausgangsgesteine), ii) Horizont- und Probenbezeichnung (Probenentnahmetiefe, Horizontbezeichnung, Feinbodenart) und iii) Analysenergebnisse (mindestens eines der Elemente As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Ti, U, V inkl. Aufschlussmethode – vorzugsweise Königswasserauszug, alternativ Totalgehalt).

Die bereitgestellten Datensätze weisen je nach Bundesland unterschiedliche Datenumfänge und Verteilungen im Raum auf (Abb. 1). Die Daten wurden in mehreren Arbeitsschritten harmonisiert: Zunächst erfolgte eine Unterteilung der Profilverteilungen in Oberböden, Unterböden und Untergrund entsprechend den von UTERMANN ET AL. (2003) entwickelten Kriterien.

Der einheitliche analytische Bezug auf Gehalte im Königswasser-(KW)-auszug erforderte bei einigen Teildatensätzen eine Umrechnung von Totalgehalten (HF-Druckaufschluss) auf Gehalte im KW-Auszug. Mit Ausnahme von Vanadium (Ad-hoc-AG Boden (2005)) fehlen für die betrachteten Spurenelemente analytisch begründete Regressionsfunktionen zur Datentransformation. In diesen Fällen wurde für das Verhältnis KW-extrahierbarer zu Totalgehalt pauschal der Faktor 0,9 angenommen.

In einem weiteren Schritt wurden Daten aus Gebieten mit bekannten Anomalien ausgeschlossen. Im Falle von Arsen handelt es sich um die jüngeren arsenidischen Bi-Co-Ni-Formation im Freiburger Revier, die Sn-W-Lagerstätten in Ehrensriedersdorf und die Kreidesandsteine des Tharandter Waldes. Im Falle von Antimon wurden die Ag-Sb-Vererzungen der älteren polymetallischen Formation im Freiburger Revier und im Falle von Uran der Granitpluton in Eibenstock-Kirchberg und Altenberg, Bergbaugebiete (Aue, Johanngeorgenstadt, Freital und Königstein) und die Auensedimente der Mulde ausgeschlossen.

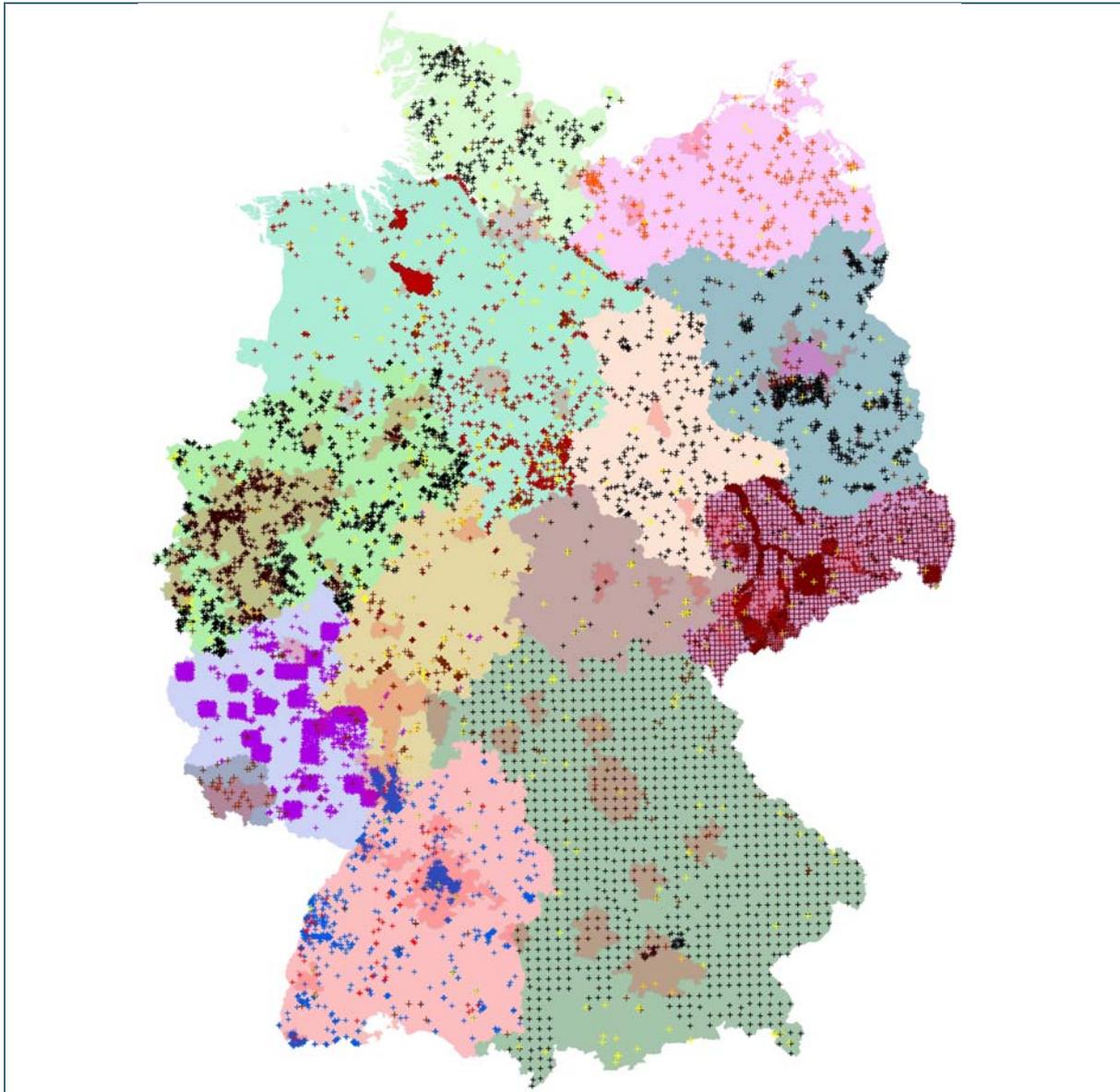


Abb. 1: Räumliche Verteilung der für die Auswertung bereitgestellten Punktinformationen

Da Hintergrundwerte für Spurenelemente in Böden in erster Priorität nach Bodenausgangsgesteinen differenziert werden (LABO 2003), wurden die Punktdatensätze im Zuge einer Punkt-in-Polygon-Analyse mit der Karte der Gruppen von Bodenausgangsgesteinen im Maßstab 1: 1 Mio. (BAGK 1000) verschnitten und auf inhaltliche Übereinstimmung der dominierenden Flächeninformation mit der Profilangabe zum Bodenausgangsgestein hin überprüft. Im bundesweiten Maßstab werden 14 Gruppen von Bodenausgangsgesteinen unterschieden.

Die resultierenden nach Bodenausgangsgesteinen stratifizierten Stichproben wurden im Falle der Oberböden zudem nach den Hauptlandnutzungen (Acker, Grünland, Forst, Sonstige) differenziert. Un-typisch belastete Proben (z.B. als Folge lokaler Kontaminationen oder von Vererzungen) wurden von der Grundgesamtheit der Hintergrundwerte für den ländlichen Raum im Zuge einer Ausreißerprüfung mittels Boxplotanalyse (Extremwertelimination) und anschließender Verteilungsprüfung ausgeschlossen (vgl. UTERMANN ET AL. 2003). Die homogenisierten Stichproben erweisen sich in der überwiegenden Anzahl der Fälle als log-normalverteilt. Um eine regionale Übergewichtung bei der Ableitung von Hintergrundwerten im länderübergreifenden Maßstab zu verhindern und eine räumliche Unabhängig-

keit der Proben sicherzustellen, musste das Datenkollektiv in einzelnen Regionen (v. a. Sachsen) ausgedünnt werden. Hierzu wurden in den betroffenen Straten (BAG/Landnutzung) Zufallsstichproben aus dem Gesamtdatensatz unter der Maßgabe einer Mindestentfernung der Punkte zueinander von 2 km gezogen.

Als Ergebnis der beschriebenen Datenharmonisierung reduzierte sich der verfügbare Datensatz von ca. 21.000 Punktinformationen je nach Element auf ca. 3000 bis < 500 Datensätze. Diese bildeten die Grundlage für die Ableitung von Hintergrundwerten (50./90. Perzentilwerte) in Straten mit einem Mindeststichprobenumfang von $n \geq 20$. Mit Bezug auf die aus bundesweiter Sicht in Teilen unbefriedigende Datenlage musste von dem in früheren Arbeiten entwickelten Stratifizierungskonzept für Hintergrundwerte in Ober- und Unterböden (UTERMANN ET AL. 1999, 2003) abgewichen werden, indem bei Oberböden auf eine Differenzierung nach Klimaregionen und bei Unterböden auf eine Differenzierung nach An-/Abreicherungs-zonen (Lockergesteine) bzw. nach dem Ausmaß der Lössbeimengung (Festgesteine) verzichtet wurde.

Für den Vergleich der nach Bodenausgangsgesteinen differenzierten HGW mit den nach Bodenarten differenzierten Vorsorgewerten wurde ein Zuweisungsschlüssel entwickelt, dem die dominierende Bodenartenhauptgruppe in den Legendeneinheiten der BAG 1000 zugrunde liegt (DÜWEL ET AL. 2007). Hierzu wurden im Zuge einer Punkt-in-Polygon-Analyse ca. 22.000 Profilinformatio-nen mit Körnungsanalysendaten für Ober- und Unterböden sowie den Untergrund mit den Legendeneinheiten der BAG 1000 verschnitten und die resultierenden Stichproben statistisch ausgewertet.

3 Hintergrundwerte mit Bezug auf Bodenausgangsgesteine

Aus Tabelle 1 geht der für die Ableitung von HGW in Ober- und Unterböden verfügbare Stichprobenumfang nach Abschluss der Datenharmonisierung für alle neun betrachteten Spurenelemente hervor. Demnach sind die aus bundesweiter Sicht flächenmäßig bedeutsamen Gruppen von Bodenausgangsgesteinen für die meisten Elemente mit einer minimal ausreichenden Anzahl an Punktinformationen belegt. Je nach Element bzw. Stichprobenumfang können für ca. 60 % bis zu 95 % der zu bele-genden Fläche Deutschlands repräsentative Hintergrundwerte ausgewiesen werden. Mit Bezug auf den derzeitigen Diskussionsstand zur Novellierung der BBodSchV soll im Folgenden das Hauptaugenmerk auf Arsen und Thallium gelegt werden, da für diese beiden Elemente zusätzlich Vorsorge-werte im Anhang 2 der BBodSchV ausgewiesen werden sollen. Die vollständigen Ergebnisse der hier auszugsweise vorgestellten Auswertungen sind als Download (UTERMANN ET AL. 2008) auf der BGR-homepage (http://www.bgr.bund.de/cln_092/DE/Themen/Boden/Produkte) eingestellt.

Von allen betrachteten Elementen kann im Falle von Arsen auf den umfangreichsten Datensatz zurückgegriffen werden, während die Datenlage bei Thallium deutlich defizitär ist. In Abbildung 2 wird beispielhaft für Arsen die Differenzierung der Elementgehalte nach Bodenausgangsgesteinen in Oberböden, Unterböden und Untergrund verdeutlicht. Dargestellt sind die Werteverteilungen in Form von Whisker-Boxplots für die Ausreißer-bereinigten Stichproben. Im Falle der Oberböden wird dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Differenzierung nach Hauptlandnutzungen verzichtet.

Tab. 1: Anzahl der Profile für die Ableitung von Hintergrundwerten in Ober- (ohne Nutzungsdifferenzierung) und Unterböden

Bodenausgangs- gesteinsgruppe	Fläche [%]	As		Be		Co		Mo		Sb		Se		Ti		U		V	
		OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB
Sedimente im Ge- zeitenbereich	1,7	115	26	13	18	32	23	-	-	25	18	12	22	-	-	10	20	13	23
Auensedimente	6,6	473	302	117	191	197	95	55	40	179	141	100	94	280	165	134	112	265	232
Terrassen- und Schotterablage- rungen	2,7	61	53	4	33	32	8	18	16	15	22	9	3	20	16	-	-	68	71
Sande und mäch- tige sandige Deck- schichten	17,9	367	271	306	213	271	273	58	51	86	107	69	117	24	22	170	222	418	359
Geschiebe-lehm/ mergel	10,8	166	165	27	77	208	97	31	66	84	100	50	52	62	62	23	26	74	148
Lösse und Löss- derivate	15,5	423	415	304	347	338	296	85	98	164	163	154	161	165	148	257	279	468	470
Sandlössse	1,3	44	42	99	34	59	73	20	40	18	88	24	33	22	38	93	135	100	92
Karbonatgesteine (Kalk- & Mergel- gesteine)	7,7	101	96	18	116	103	86	64	58	72	69	63	56	127	114	86	89	70	83
Tongesteine	11,7	160	142	99	134	119	82	13	14	59	36	45	36	40	44	86	81	222	164
Sandsteine	8,7	79	74	63	67	73	66	29	28	48	37	25	19	103	101	26	28	91	84
Basische Magmatite & Metamorphite	1,2	41	37	11	16	15	10	5	5	13	14	6	6	20	19	3	2	19	17
Bimstuff	0,1	11	20	12	12	19	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	19
Saure Magmatite & Metamorphite	5,4	163	131	210	81	59	190	54	51	136	94	49	49	186	132	337	328	304	265
Torfe/kultivierte Moore	5,0	68	68	25	26	40	37	7	10	31	38	4	3	-	-	-	-	27	42

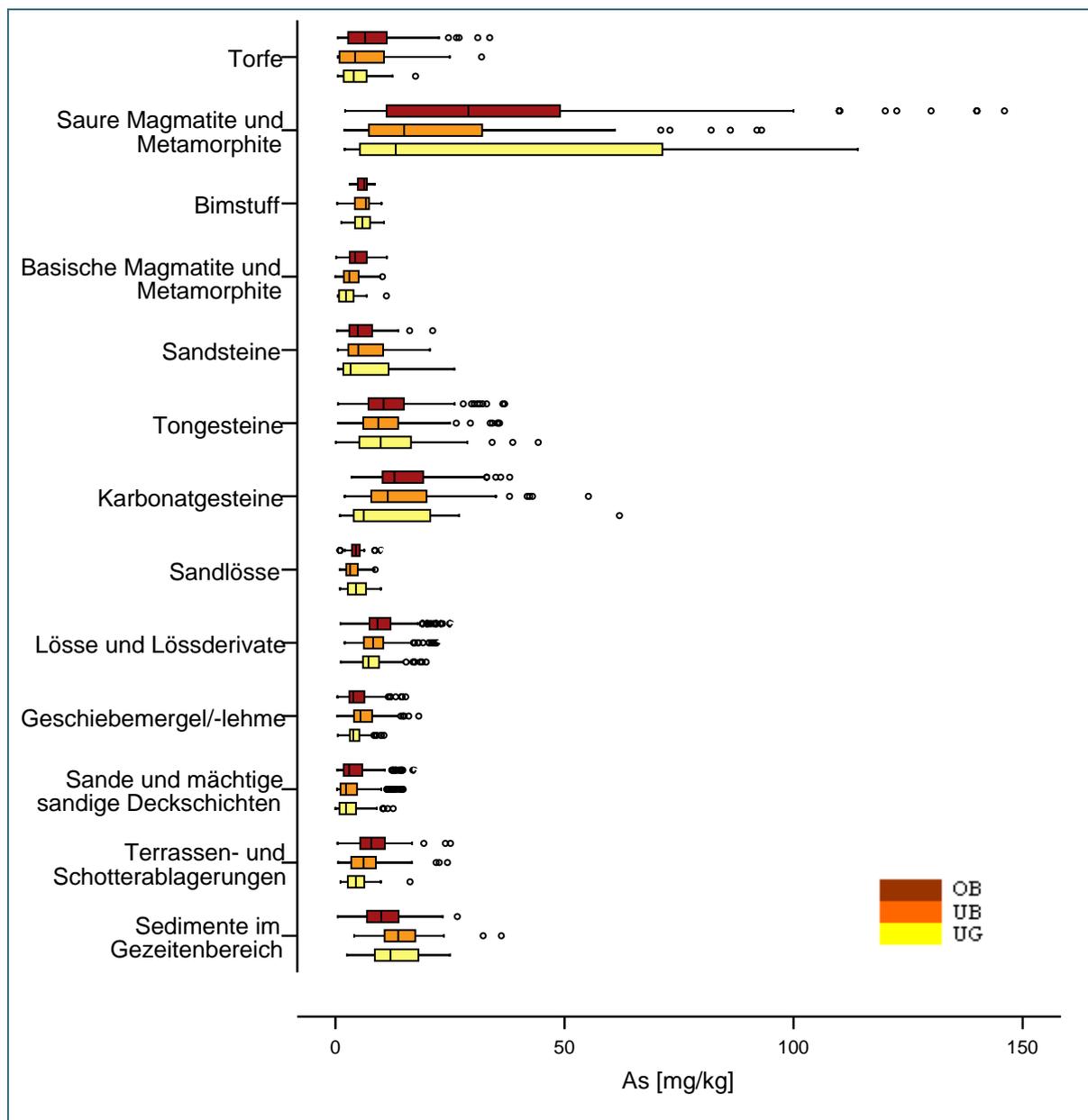


Abb. 2: Whisker-Boxplots für Königswasser-extrahierbare As-Gehalte [mg/kg] in Oberböden (OB), Unterböden (UB) und Untergrund (UG) differenziert nach Gruppen von Bodenausgangsgesteinen

Unter den ausgewiesenen Gruppen von Bodenausgangsgesteinen fallen insbesondere die Böden über sauren Magmatiten und Metamorphiten mit einem deutlich erhöhten Wertenniveau auf. Der Vergleich der Gehaltsspannen in Oberböden, Unterböden und Untergrund verdeutlicht, dass es sich hierbei prioritär um geogen erhöhte Elementgehalte handelt. Die 90. Perzentilwerte liegen für Oberböden zwischen 45,7 mg/kg (Acker) und 110 mg/kg (Forst), in Unterböden bei 45,8 mg/kg und im Untergrund bei 87,6 mg/kg. Ein mittleres Gehaltsniveau weisen die Böden über Karbonatgesteinen (90. Perzentilwerte ca. 25 bis 33 mg/kg) und über Tongesteinen (90. Perzentilwerte ca. 15 bis 25 mg/kg) auf, während in den Böden aus Lockergesteinen die 90. Perzentilwerte i.d.R. < 15 mg/kg sind. Im Vergleich zu Arsen differenziert Thallium deutlich weniger (UTERMANN ET AL. 2008). Die 90. Perzentilwerte sind $\leq 0,5$ mg/kg, lediglich im Falle der Sauren Magmatite und Metamorphite sowie der Kalkgesteine wird ein Wertenniveau von ca. 1 mg/kg ausgewiesen.

4 Hintergrundwerte mit Bezug auf Bodenartenhauptgruppen

Zum direkten Vergleich der nach Bodenausgangsgesteinen differenzierten HGW mit den Vorsorgewerten gemäß Anhang 2 BBodSchV wurde für die aus bundesweiter Sicht relevanten BAG-Gruppen der relative Anteil der Bodenartenhauptgruppen Tone, Schluffe & Lehme sowie Sande nach der in Kap. 2 beschriebenen Vorgehensweise ermittelt. In Tabelle 2 sind die Häufigkeiten der Feinbodenarten (-hauptgruppen) für die Ausgangsgesteinsgruppen sowie die resultierende dominierende Bodenartenhauptgruppe aufgeführt.

Tab. 2: Häufigkeiten der Feinbodenarten (nach Ad-hoc-AG Boden (KA5)) bezogen auf die Bodenarten – Hauptgruppen von Böden aus verschiedenen BAG-Gruppen (DÜWEL ET AL. 2007)

Bodenausgangsgesteinsgruppe (BAG)	Profilbereich	n	Anteil der Bodenarten (%) der Einzelproben an den Bodenarten - Hauptgruppen			Dominierende Bodenarten – Hauptgruppe(n)
			Tone	∑ Schluffe & Lehme	Sande	
Sedimente im Gezeitenbereich	Oberboden	642	49	47	4	t
	Unterboden	89	51	34	16	t
	Untergrund	3	nb	nb	nb	--
Auen-sedimente	Oberboden	1246	16	60	25	u/l
	Unterboden	837	15	51	34	u/l
	Untergrund	230	5	44	51	s
Fluss- und Schotterablagerungen	Oberboden	527	5	59	36	u/l
	Unterboden	446	11	39	51	s
	Untergrund	177	8	21	71	s
Sande (und sandige Deckschichten)	Oberboden	2001	2	18	80	s
	Unterboden	1306	5	21	75	s
	Untergrund	197	8	10	82	s
Geschiebemergel/-lehm mit Decksch.	Oberboden	127	0	10	90	s
	Unterboden	35	6	23	71	s
	Untergrund	21	0	24	76	s
Geschiebemergel/-lehm	Oberboden	699	7	58	35	u/l
	Unterboden	278	17	63	21	u/l
	Untergrund	93	18	41	41	u/l
Löss	Oberboden	4026	10	82	8	u/l
	Unterboden	1660	23	65	12	u/l
	Untergrund	616	22	61	18	u/l
Sandlöss	Oberboden	337	1	76	23	u/l
	Unterboden	227	0	59	41	u/l
	Untergrund	74	5	12	82	s
Carbonatgesteine	Oberboden	1283	28	59	13	u/l
	Unterboden	661	49	41	10	t
	Untergrund	460	34	51	15	u/l
Tongesteine	Oberboden	2513	9	83	8	u/l
	Unterboden	2160	18	74	8	u/l
	Untergrund	995	16	67	17	u/l
Sandsteine	Oberboden	1039	7	47	46	u/l
	Unterboden	698	9	47	44	u/l
	Untergrund	433	5	39	56	s
Basische Magmatite und Metamorphite	Oberboden	184	15	81	4	u/l
	Unterboden	98	20	72	7	u/l
	Untergrund	47	6	64	30	u/l

Insbesondere im Festgesteinsbereich wird offensichtlich, dass als Folge der Lössbeimengen mit wenigen Ausnahmen die Bodenartenhauptgruppe Lehme/Schluffe vorherrscht. Die Bodenartenhauptgruppe Tone tritt nur in Unterböden der Karbonatgesteine (T-Horizonte der Terra Fuscen) und bei den Sedimenten im Gezeitenbereich dominierend auf.

Für den Vergleich von Hintergrundwerten mit Vorsorgewerten wurde diejenige Bodenartenhauptgruppe herangezogen, die in der jeweiligen BAG-Gruppe am häufigsten anzutreffen ist. Diese Vorgehensweise nimmt bei Bodenausgangsgesteinen mit bedeutsamen Anteilen mehrerer Bodenartenhauptgruppen Unschärfen in Kauf, ist aber derzeit ohne Alternative, da die bereitgestellten Datensätze häufig keine Angaben zur Bodenart enthalten. Da die HGW wegen ihres dominierenden geogenen Ursprungs in den BAG-Einheiten unterschiedliche Wertenniveaus zeigen, ist bei einem Bezug zu Bodenartenhauptgruppen insbesondere im Festgesteinsbereich mit mehrgipfligen Werteverteilungen zu rechnen. Die Zuordnung von HGW zu Bodenartenhauptgruppen erfolgt deshalb in Form einer Angabe der Spannen der 50. und 90. Perzentilwerte, die aus der Zusammenfassung der HGW aller BAG-Einheiten mit der gleichen vorherrschenden Bodenartenhauptgruppe resultieren. In Tabelle 3 sind exemplarisch für die neun betrachteten Spurenelemente die auf Bodenarten bezogenen Spannen der HGW für Arsen und Thallium aufgeführt.

Tab. 3: Spannen der Hintergrundwerte (50. & 90. Perzentilwerte) für As & Tl in Oberböden, Unterböden und Untergrund bezogen auf die Bodenartenhauptgruppen Sande, Schluffe/Lehme und Tone (A: Acker, G: Grünland, F: Forst)

Arsen [mg/kg]

Profilbereich		Sande			Schluffe/Lehme			Tone		
		N	50. P.	90. P.	N	50. P.	90. P.	N	50. P.	90. P.
Oberboden	A	140	2,7	8,9	489 (52)	3,4 – 13,0 (17,0)	7,0 – 24,0 (45,7)	44	8,8	13,4
	G	102	3,0	10,0	188 (42)	3,1 – 11,5 (32,5)	11,7 – 19,4 (57,5)	71	10,7	20,4
	F	125	3,2	8,0	350 (69)	3,8 – 12,2 (32,0)	11,3 – 32,5 (110,0)			
Unterboden		271	2,3	7,2	843 (131)	3,0 – 10,6 (14,1)	7,2 – 25,0 (45,8)	122	10,6–13,5	25,0–26,2
Untergrund		115	2,2	8,0	405	2,3 – 9,6 (10,7)	8,1 – 23,7 (87,6)			

In Klammern angegebene Werte gelten für bindige Böden auf Sauren Magmatiten und Metamorphiten.

Thallium [mg/kg]

Profilbereich		Sande			Schluffe/Lehme			Tone		
		N	50. P.	90. P.	N	50. P.	90. P.	N	50. P.	90. P.
Oberboden	A				282	0,20 – 0,46	0,36 – 0,97			
	G	24	0,12	0,30	175	0,12 – 0,49	0,54 – 1,04	-		
	F				277	0,20 – 0,52	0,40 – 1,12			
Unterboden		22	0,09	0,25	522	0,14 – 0,46	0,27 – 1,02	114	0,40	0,94
Untergrund		-	-	-	167	0,11 – 0,52	0,39 – 1,31			

Der Vergleich der in Tabelle 3 angegebenen Wertespannen verdeutlicht u. a. i) im Falle von Arsen die geogen bedingte Sonderstellung der Sauren Magmatite und Metamorphite sowie ii) im Falle von Thallium die vergleichsweise geringe Differenzierung der HGW bei z. T. deutlich defizitärer Datenlage. Bezüglich der auf Bodenarten bezogenen HGW für die übrigen hier nicht dargestellten Elemente wird auf UTERMANN ET AL. (2008) verwiesen.

5 Bewertung des Status Quo und Ausblick

Mit Bezug auf die anstehende Novellierung der BBodSchV stehen prioritär HGW für die Elemente Arsen und Thallium im Fokus. Legt man für die Ableitung von HGW die Stratifizierungsansätze zugrunde, die für die bisher in der BBodSchV mit Vorsorgewerten geregelten Elemente entwickelt wurden (LABO 2003, UTERMANN ET AL. 2005), so lässt sich aus bundesweiter Sicht grundsätzlich für beide Elemente eine immer noch ungenügende Datenlage feststellen. Dennoch erscheinen die derzeit erzielbaren Ergebnisse zu HGW in erster Näherung geeignet, die in Rede stehenden Vorsorgewerte für Arsen (S: 10 mg/kg, U/L: 15 mg/kg, T: 20 mg/kg) und Thallium (S: 1 mg/kg, U/L, T: 1,5 mg/kg) auf ihre Plausibilität zu prüfen. Im Falle von Arsen kann auf die umfangreichste Datenlage mit einer Abdeckung von ca. 95 % der zu belegenden Fläche zurückgegriffen werden. Hier besteht insbesondere im Hinblick auf die geogen erhöhten Gehalte in Böden über Sauren Magmatiten und Metamorphiten Regelungsbedarf. Im Falle von Thallium stellt sich die Datenlage zwar deutlich defizitärer dar, das Wertenniveau an sich sowie die eher unbedeutende geogene Differenzierung lassen aber den Schluss zu, dass die vom BMU vorgeschlagenen Vorsorgewerte unproblematisch sind im Hinblick auf das Hintergrundwertenniveau der Böden im ländlichen Raum.

Mit Blick auf das gesamte Spektrum der in dieser Studie betrachteten Spurenelemente bestehen aus bundesweiter Sicht weiterhin grundsätzliche Defizite insbesondere bezüglich

- einer hinreichenden, repräsentativen Abdeckung des gesamten Untersuchungsraumes,
- einheitlicher Untersuchungsverfahren und Probenahmestrategien sowie
- einer einheitlichen bodenkundlichen Begleitansprache/-analytik (Mindestdatensatz) zur Interpretation der Spurenelementgehalte.

Vergleichbare und flächendeckende Informationen zu Spurenelementgehalten in Böden werden sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene benötigt. Im Rahmen der zurzeit durchgeführten Wiederholung der Bodenzustandserhebung unter Wald (BZE II) wird es auf nationaler Ebene im 8 x 8 km Raster für ca. ein Drittel der Landesfläche in naher Zukunft zu einer substantiellen Verbesserung der gegebenen heterogenen Datenlage kommen. Die auf einheitlichen methodischen Ansätzen beruhende BZE II findet auf europäischer Ebene ihr Äquivalent in dem EU-Projekt BioSoil (16x16 km Raster). Beide Programme betrachten im Falle der Spurenelemente allerdings nur die Oberböden und werden durch ergänzende Untersuchungen der BGR zumindest in Teilen auf Unterböden ausgedehnt. In mehreren EU-Staaten übergreifenden Studien von EuroGeoSurveys konnte die Machbarkeit und Sinnhaftigkeit von methodisch vergleichbaren Erhebungen auch für die EU-Maßstabsebene nachgewiesen werden (REIMANN ET AL. 2003, TALMINEN ET AL. 2005). Im Rahmen des derzeit laufenden Programms GEMAS (Geochemical Mapping of Agricultural and Grazing Land Soil of Europe) werden Europa-weit im 50 x 50 km Raster die landwirtschaftlich genutzten Oberböden – in Deutschland auch die Unterböden – nach einem abgestimmten methodischen Ansatz untersucht, so dass sich zukünftig die regional, bundesland- und deutschlandweit vorhandenen Informationen zu Spurenelementgehalten der Böden in ein Europa-weites Messnetz einhängen lassen werden.

Danksagung: Die Autoren danken den Mitgliedern der Ad-hoc-AG Boden sowie des stÄA2 der LABO für die problemlose und zeitnahe Bereitstellung der umfangreichen Datensätze.

6 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage. 438 pp., Hannover

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005): Leitfaden zum Umrechnungsprogramm – Methodenvergleich Gesamtgehalte Haupt- und Spurenelemente, 18 pp.

BACHMANN, G., BANNICK, C.G., GIESE, E., GLANTE, F., KEINE, A., KONIETZKA, R., RÜCK, F., SCHMIDT, S., TERYTZE, K., V. BORRIES, D. (1998): Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. In Rosenkranz, D.; Einsele, G.; Harreß, H.-M. & G. Bachmann [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 3500, Bos 24. Lfg. IX/97. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

BGBL. I (1998): Bundesgesetzblatt Teil 1: Gesetz zum Schutz des Bodens; BGBL. I S. 502 ff.

BGBL. I (1999): Bundesgesetzblatt Teil 1: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung; BGBL. I S. 1554 ff..

DÜWEL, O., UTERMANN, J. & F. KRONE (2007): Zuordnung von Bodenarten zu den in Deutschland vorherrschenden Gruppen von Bodenausgangsgesteinen - Auswertungen vor dem Hintergrund der Verknüpfung von Vorsorgewerten nach Anhang 2 BBodSchV mit Hintergrundwerten für anorganische Schadstoffe in Böden. BGR-Bericht, 25 pp., Hannover, Archiv Nr.: 0126616

LABO (2003): Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz: Hintergrundwerte für organische und anorganische Stoffe in Böden. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. In Rosenkranz, D.; Einsele, G.; Harreß, H.-M. & G. Bachmann [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 9006, BoS 39. Lfg. XII/03. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

REIMANN, C., SIEWERS, U., TARVINEN, T., BITYUKOVA, L., ERIKSSON, J., GILUCIS, A., GREGORAUSKINE, V., LUKASHEV, V., MATINIAN N., PASIECZNA, A. (2003): Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas. Geol. Jahrb. Reihe D, Heft SD 5, 279 pp.

SALMINEN, R. (CHIEF EDITOR), BATISTA, M.J., BIDOVEC, M., DEMETRIADES, A., DE VIVO, B., DE VOS, W., DURIS, M., GILUCIS, A., GREGORAUSKIENE, V., HALAMIC, J., HEITZMANN, P., LI-MA, A., JORDAN, G., KLAVER, G., KLEIN, P., LIS, J., LOCUTURA, J., MARSINA, K., MAZREKU, A., O'CONNOR, P.J., OLSSON, S.Å., OTTESEN, R.-T., PETERSELL, V., PLANT, J.A., REEDER, S., SALPETEUR, I., SANDSTRÖM, H., SIEWERS, U., STEENFELT, A., TARVAINEN, T. (2005): Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology and Maps. ISBN 951-690-913-2 (electronical version).

UTERMANN, J., DÜWEL, O., FUCHS, M., GÄBLER, H.-E., GEHRT, E., HINDEL, R. & J. SCHNEIDER (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundgehalten in Oberböden. Forschungsbericht 29771010, UBA-FB 99-066, 141 pp. UBA Texte 95/99.

UTERMANN, J., RABER, B., DÜWEL, O., MÖLLER, A. & C. S. SIEBNER (2003): Überprüfung und Fortschreibung der Vorsorgewerte für Böden nach BBodSchV – Teilvorhaben I: Ableitung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Unterböden und Untergrund. UBA Forschungsvorhaben 201 71 242, 126 pp.



Tagungsleitung / Referenten

Dr. Richard Fackler
 Vizepräsident des LfU
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof
 Tel.: (0 92 81) 18 00–45 00
 E-Mail: Richard.Fackler@lfu.bayern.de

Dr. Thomas Suttner
 Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,
 Gesundheit und Verbraucherschutz
 Rosenkavalierplatz 2
 81925 München
 Tel.: (0 89) 92 14–33 14
 E-Mail: Thomas.Suttner@stmugv.bayern.de

Uwe Geuß
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof
 Tel.: (0 92 81) 18 00–47 82
 E-Mail: Uwe.Geuss@lfu.bayern.de

Dr. Edzard Hangen
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof
 Tel.: (0 92 81) 18 00–47 85
 E-Mail: Edzard.Hangen@lfu.bayern.de

Alexander Heinel
 Universität Regensburg
 Universitätsstraße 31
 93053 Regensburg
 Tel.: (01 70) 2 12 73 36
 E-Mail: Alexander.Heinel@stud.uni-regensburg.de

Manuela Hornung
 Wasserwirtschaftsamt Weiden
 Vorsorgender Bodenschutz, Bodenkunde
 Gabelsbergerstraße 2
 92637 Weiden
 Tel.: (09 61) 3 04–4 25
 E-Mail: Manuela.Hornung@wwa-wen.bayern.de

Jörg Leisner-Saaber
 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucher-
 schutz Nordrhein-Westfalen
 Leibnizstr. 10
 45659 Recklinghausen
 Wallneyer Str. 6
 45133 Essen
 Tel.: (02 01) 79 95-11 84
 E-Mail: Joerg.Leisner-Saaber@lanuv.nrw.de

Dr. Walter Martin
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
 86179 Augsburg
 Tel.: (08 21) 90 71–51 90
 E-Mail: Walter.Martin@lfu.bayern.de

Dr. Ingo Müller
 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirt-
 schaft und Geologie
 Postfach 54 01 37
 01311 Dresden
 Tel.: (0 37 31) 29 42 26
 E-Mail: Ingo.Mueller@smul.sachsen.de

Dr. Heinz Neite
 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucher-
 schutz Nordrhein-Westfalen
 Leibnizstr. 10
 45659 Recklinghausen
 Wallneyer Str. 6
 45133 Essen
 Tel.: (02 01) 79 95-11 84
 E-Mail: Heinz.Neite@lanuv.nrw.de

Klaus Pfadenhauer
 Wasserwirtschaftsamt Kronach
 SG Bodenkunde
 Kulmbacher Str. 15
 96317 Kronach
 Tel.: (0 92 61) 5 02–2 28
 E-Mail: Klaus.Pfadenhauer@wwa-kc.bayern.de

Peter Spörlein
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof
 Tel.: (0 92 81) 18 00–47 84
 E-Mail: Peter.Spoerlein@lfu.bayern.de

Dr. Jens Utermann
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Roh-
 stoffe
 Referat Bodennutzung, -schutz und -analytik
 Stilleweg 2
 30655 Hannover
 Tel.: (05 11) 6 43–28 39
 E-Mail: Jens.Utermann@bgr.de

