

Sachstandsbericht

Landesamt für Umwelt und Geologie

Die Schwermetallgehalte der Böden im Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer
für die Bewertung der Gefährdungspfade
Boden \Rightarrow Mensch, Boden \Rightarrow Nutzpflanze und Boden \Rightarrow Sickerwasser
nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)

Stand 01.09.2000

Bearbeiter: G. Rank; K. Kardel; H. Weidensdörfer
Referat Bodenkartierung/Geochemie
Sachgebiet Geochemie

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorwort	3
2	Recherche und Prüfung der vorliegenden Datenbestände zu stofflichen Untersuchungen im Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer	3
2.1	Recherchierte Datenbestände	3
2.2	Prüfung auf Vergleichbarkeit der Datenbestände	4
2.3	Validierter Datenbestand zur Beurteilung der Böden nach BBodSchV	5
3	Statistische Bearbeitung und Kartendarstellungen	6
4	Auswertung des Datenbestandes hinsichtlich der Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die einzelnen Wirkungspfade	7
4.1	Wirkungspfad Boden⇒Mensch, direkte Aufnahme von Schadstoffen	7
4.2	Wirkungspfad Boden⇒Nutzpflanze, Schadstoffübergang im Hinblick auf die Pflanzenqualität und Wachstumsbeeinträchtigungen	8
4.3	Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser	9
5	Zusammenfassung	11
6	Schlussfolgerungen	
7	Literatur	12
8	Tabellenverzeichnis	13
9	Abbildungsverzeichnis	13
10	Anhang	15

1 Vorwort

Das Gebiet Ehrenfriedersdorf – Geyer gehört aufgrund der geogenen und anthropogenen As-Belastungen der Böden zu den am Besten untersuchten Gebieten in Sachsen (Datendichte ca. 7 Proben/km²). Nach Inkrafttreten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) stellt sich vor allem die Frage der Vergleichbarkeit der umfangreichen, unterschiedlichen Datenbestände und in wie weit diese den Anforderungen der BBodSchV genügen.

Mit dem vorliegenden Sachstandsbericht wurden alle dem LfUG vorliegenden Datenbestände auf die qualitativen Vorgaben der BBodSchV geprüft und z. T durch Umrechnung der Altdaten ein validierter Datensatz erzeugt, der eine Beurteilung der Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten in der Fläche für den Schadstoffübergang Boden⇒Mensch, Boden⇒Nutzpflanze und Boden⇒Grundwasser nach BBodSchV gestattet.

Die wirkungspfad- und nutzungsbezogene Auswertung der Daten und ihre Darstellung in Karten ermöglichen sowohl eine flächenhafte als auch standortbezogene Bewertung der Schutzgüter (Anlagenband).

2 Recherche und Prüfung der vorliegenden Datenbestände zu stofflichen Untersuchungen im Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer

2.1 Recherchierte Datenbestände

Daten zum Stoffbestand der Böden im Raum Ehrenfriedersdorf – Geyer werden in größerem Umfang erst seit den 70er Jahren erhoben. Durch geochemische Prospektionsarbeiten bei der Suche nach Zinnlagerstätten durch ADAMSKI et al. (1980), ROSCHER & BÜCHNER (1984) und ROSCHER et al. (1986) wurden ca. 39 000 Bodenproben (Unterboden, Gesamtprobe, Korngröße <1 cm) u. a. auf As untersucht. Die Datendichte erreichte im Raum Ehrenfriedersdorf und Geyer 400 Proben/km². Dadurch erfolgte erstmalig der Nachweis großflächiger As-Belastungen (Abb. 1). Diese Ergebnisse veranlassten das LfUG dazu, dieses Gebiet in die Rasteruntersuchungen 1 km x 1 km aufzunehmen (RANK et al., 1997). Zur Konturierung der ermittelten hohen As-Gehalte im mineralischen Oberboden wurden 1997 verdichtende Untersuchungen durchgeführt (sog. Sondermessnetz).

Neben den flächendeckenden Untersuchungen durch das LfUG wurden eine Reihe von Standortuntersuchungen im Auftrag der Landratsämter Zschopau und Annaberg-B. sowie der Kommunen durchgeführt.

Zur Zeit liegen dem LfUG Analysendaten von Böden aus 11 (größeren) Projekten vor (vgl. Anhang Tab. 1). Soweit es aus den Unterlagen ersichtlich war, wurden zusätzliche Angaben zur Art der Probenahme, der untersuchten Kornfraktion, dem Aufschluss der Probe und dem Analysenverfahren recherchiert und dokumentiert.

Die großflächigen Untersuchungen der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 1992) konnten leider in die Auswertungen nicht einbezogen werden, da seitens der LfL nur gerundete Koordinaten zur Verfügung gestellt werden, die lediglich einem Raster von 2 x 2 km entsprechen und daher für eine Darstellung im vorliegenden Maßstab (1: 50 000) nicht geeignet sind.

2.2 Prüfung auf Vergleichbarkeit der Datenbestände

Durch die BBodSchV werden zahlreiche Anforderungen an die Qualität und Dokumentation der Probenahme- und Analysenbedingungen gestellt, so u. a.:

- Nutzungsorientierte bzw. horizontbezogene Beprobungstiefe (vgl. Anhang Tab. 2)
- Zu untersuchende Kornfraktion (i. d. R. <2 mm)
- Probenaufschluss; Gesamtgehalte - Königswasser, mobile Gehalte - NH₄NO₃-Extraktion, Eluate mit Filtrationsschritt (Bodensättigungsextrakt)

- Analysenmethoden (AAS, ICP-AES, ICP-MS).

Nutzungsorientierte bzw. horizontbezogene Beprobung

Die Datenbestände weisen grundsätzlich zwei unterschiedliche Beprobungskriterien auf – eine tiefenstufenbezogene (0 bis 30 cm) und eine horizontbezogene (mineralischer Oberboden: Ap, Ah; Unterboden usw.). Für die Zusammenführung der Daten bildeten diese Unterschiede kein Ausschlusskriterium, da durch beide Probenahmestrategien der nutzungsspezifische Bereich, i. W. mineralischer Oberboden (0 bis 30 cm), hinreichend genau abgebildet wird. Eine spezielle Probenahmemethodik zur Beurteilung des Gefährdungspfades Boden⇒Mensch, 0 bis 10 cm sowie 0 bis 2 cm (<63 µm), zur Beurteilung einer oralen/dermalen bzw. einer inhalativen Aufnahme, wurden nicht durchgeführt. In Bereichen hoher As-Belastungen ist jedoch davon auszugehen, dass die As-Gehalte bis 2 cm bzw. bis 10 cm Tiefe nicht unter den Gehalten des gesamten mineralischen Oberbodens („A-Horizont“) liegen.

Kornfraktion

Mit Ausnahme der Prospektionsarbeiten (Anhang Tab. 1, Nr. 11) wurden sämtliche Untersuchungen an der Kornfraktion <2 mm durchgeführt.

Die Bestimmung der mobilen Elementanteile (NH₄NO₃-Extraktion) erfolgte ausschließlich am Feinboden nach DIN 19730.

Die Eluate wurden von der Bodenfraktion <2 mm gewonnen.

Aufschluss der Bodenproben

Nach der BBodSchV ist das System der Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte, analog zur Klärschlammverordnung, auf die Bestimmung der Elementgehalte am Königswasser (KW)-extrahierbaren Anteil aufgebaut. Die flächenhaften Untersuchungen im Rahmen der Bodenmessnetze basieren auf dem sog. Totalaufschluss, ein Säureaufschluss aus HF/HClO₄/HNO₃. In der Regel liegen die Totalgehalte über den KW-extrahierbaren Gehalten. Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens konnte durch UTERMANN et al. (1999) an länderübergreifenden Datensätzen nachgewiesen werden, dass zwischen dem Total- und KW-Aufschluss enge bis sehr enge Zusammenhänge existieren. Für den analytischen Vergleich zwischen Total- und KW-extrahierbaren Gehalten liegen substrat- und elementspezifische, lineare Regressionsfunktionen zur Umrechnung in beide Richtungen vor.

In einem FuE-Vorhaben des LfUG wurden analoge Untersuchungen für den Freiburger und Ehrenfriedersdorfer Raum durch HERTWIG (1999) durchgeführt, die zu folgenden Regressionsgleichungen führten:

$$As_{KW} = 0,16 + 0,99 As_{Tot}$$

$$Cd_{KW} = -0,05 + 1,0 Cd_{Tot}$$

$$Pb_{KW} = -12,94 + 1,01 Pb_{Tot}$$

Diese Ergebnisse zeigen, dass bei As und Cd zwischen beiden Aufschlussverfahren nur geringfügige Unterschiede bestehen, die im konkret vorliegenden Gehaltsniveau vernachlässigbar sind. Bei Blei ist der Gehaltsunterschied jedoch etwas größer, so dass die Pb-Totalgehalte der Datenbestände nach der o. g. Regressionsgleichung in KW-Gehalte umgerechnet wurden.

Zur Bewertung des Wirkungspfades Boden⇒Nutzpflanze sind nach BBodSchV für die Elemente Pb, Cd und Tl die mobilen Elementanteile anzuwenden. Größere Datenerhebungen fanden dazu erst in jüngster Zeit statt (Anhang Tab. 1, u. a. Nr. 2, 3), die alle nach DIN 19730 durchgeführt wurden und den gestellten Anforderungen entsprechen.

Für den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser wird nach BBodSchV die Bestimmung der Schwermetalle im Bodensättigungsextrakt (BSE) gefordert. Da die Analytik der Bodenmessnetze noch vor Verabschiedung der BBodSchV durchgeführt wurde, kamen hier Eluatanaly-

sen nach DIN 38414-4 (Deutsches Einheitsverfahren S4) für Ober- und Unterbodenproben zur Anwendung. In Abweichung von der DIN wurden die Eluate nicht an der Gesamtprobe, sondern an der Fraktion <2 mm gewonnen.

Da die Bestimmung der Elemente im BSE sehr aufwendig und für eine Massenanalytik kaum einsetzbar ist, wurde die DIN Vornorm 19735 entwickelt, um Ergebnisse von Eluatbestimmungen und NH₄NO₃-Extraktionen in BSE-Gehalte umzurechnen. Die Regressionsgleichungen besitzen zunächst empfehlenden Charakter und sind auf den entsprechenden Kartendarstellungen vermerkt.

Untersuchte Parameter

Aufgrund der Altdaten war bekannt, dass das Element As im Untersuchungsgebiet die dominierende Rolle spielt. Die breit angelegte Untersuchungspalette im Bodenmessnetz Ehrenfriedersdorf Raster 1 km x 1 km ergab weitere schwache Indikationen für Cd und Pb, insbesondere bei den mobilen Gehalten bzw. Eluaten. Aufgrund der Ergebnisse des Bodenmessnetzes Sachsen, wo weiterhin Tl in höheren Gehalten feststellbar war, wurde Tl in die Untersuchungsstrategie der verdichtenden Untersuchungen des sog. Sondermessnetzes (1997-1999) aufgenommen.

Analysenmethoden

Die in der BBodSchV vorgeschriebenen Verfahren AAS, ICP-AES und ICP-MS wurden in allen Einzelprojekten nach 1990 angewendet. Die Untersuchungen im Rahmen der Prospektionsarbeiten wurden emissionsspektrometrisch mittels Pulverschüttmethode durchgeführt. Die As-Gehalte im Unterboden stellen somit Totalgehalte an der Gesamtprobe dar (RANK et al., 1997).

2.3 Validierter Datenbestand zur Beurteilung der Böden nach BBodSchV

Von den recherchierten 11 (größeren) Datenbeständen, zuzüglich von Einzelproben, erfüllen mit Ausnahme der Prospektionsdaten alle Datensätze die Anforderungen der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden⇒Mensch und Boden⇒Nutzpflanze. Für den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser gelten die o. g. Einschränkungen. Damit liegen für das gesamte Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 2) auf ca. 70 km² parameterbezogen folgende Stichprobenzahlen für Oberbodenhorizonte vor:

Tab. 1: Datenbestand Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer

Untersuchter Parameter mineralischer Oberboden	Probenzahl
Arsen	534
Cadmium	465
Blei	484
Thallium	467
NH ₄ O ₃ -Extraktionen (mobile Gehalte)	ca. 400
Eluate DEV S4	ca. 380

Dieser Datenbestand bildete die Grundlage für sämtliche Kartendarstellungen und die Bewertung der Gefährdungspfade nach BBodSchV in der Fläche.

3 Statistische Bearbeitung und Kartendarstellungen

Die Kartendarstellungen (Rasterkarten) erfolgten mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) ArcInfo einschließlich des GRID-Moduls. Mittels Inversdistanzwichtung (IDW) erfolgte eine Interpolation auf eine Rastergröße von 100 x 100 m. Der Interpolationsradius beträgt 1 600 m, wobei max. 6 Nachbarpunkte, die am nächsten gelegen sind, in die

Berechnung eingingen. Die Klasseneinteilung erfolgte anhand der Berechnungen der Perzentile 15, 25, 50 (Median), 75, 90, 95, 97 und 99 % (mittels Standardsoftware SPSS), wie sie z. B. zur Bestimmung der Hintergrundwerte von Böden (P50, P90) und zur Abtrennung von anomalen Elementgehalten (P97, P99) angewendet werden.

Für den Datenbestand ergeben sich für die mineralischen Oberböden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Perzentile (unabhängig von Substrat und Nutzung). Zum Vergleich sind die für die Gesamtfläche Sachsens ermittelten Perzentilwerte aufgeführt (RANK et al., 1999):

Tab. 2: Statistische Kennwerte mineralischer Oberböden Ehrenfriedersdorf – Geyer/ Freistaat Sachsen

Element 1)	Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer							
	P15	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P99
As	130	191	407	821	1635	2341	2864	4394
Cd	0,22	0,28	0,51	0,77	1,32	1,77	2,2	3,1
Pb	54	62	80	104	135	164	220	477
TI	0,64	0,71	0,95	1,27	1,75	2,29	2,6	2,8
As _{mob}	39	65	238	760	1958	3835	5292	14911
Cd _{mob}	18	24	42	86	180	242	382	702
Pb _{mob}	73	191	5125	18112	28305	36972	44512	60885
TI _{mob}	8,0	12	23	37	55	67	79	107
As _{elu}	17	31	105	351	874	1711	2724	4423
Cd _{elu}		<0,7	1,4	3,0	5,0	6,7	7,9	19
Pb _{elu}		<17	38	115	202	300	397	795

Element 1)	Freistaat Sachsen							
	P15	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P99
As	4,8	7,0	12	27	54	78	100	159
Cd	0,18	0,25	0,40	0,59	0,85	1,1	1,3	2,3
Pb 2)	25	30	42	67	100	130	160	270
TI	0,30	0,40	0,53	0,67	1,0	1,3	1,8	3,4
As _{mob}	<1	1,1	2,3	4,8	11	22	37	150
Cd _{mob}	4,1	6,6	16	31	59	97	120	204
Pb _{mob}	4,4	8,3	43	700	4600	8000	11000	18000
TI _{mob}			<5	5,5	13	22	30	53

- 1) Gesamtgehalte mg/kg; mobile Gehalte(mob) µg/kg; Eluat-Gehalte (elu) µg/l
- 2) Totalgehalte in „KW-Gehalte“ mit Faktor 0,8 umgerechnet

Zur besseren Konturierung von Flächen mit vermuteten Bodenbelastungen wurde für den Gefährdungspfad Boden⇒Mensch eine Isoliniendarstellung gewählt (ArcView, Zellgröße 100 x 100 m), deren Isokonzentratenabstände den nutzungsbezogenen Prüfwerten der BBodSchV entsprechen.

Für den Gefährdungspfad Boden⇒Nutzpflanze wurde eine Einzelpunktdarstellung jener Proben gewählt, die je nach Nutzungsart (Acker/Nutzgarten; Grünland) die Prüf- und Maßnahmenwerte überschreiten. Aufgrund der kleinräumigen Wechsel der Nutzungsart ist eine

Isoliniendarstellung nicht sinnvoll, da sonst über Nutzungsänderungen hätte hinweg interpoliert werden müssen, was letztendlich zu einem stark geglätteten Isolinienverlauf und relativ ungenauen Abgrenzungen geführt hätte.

Zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser wurde eine Einzelpunktdarstellung nach den Z-Werten der LAGA-TR durchgeführt. Entsprechend den vorgeschlagenen Umrechnungsmethoden von Elementgehalten im Eluat in Elementgehalt Bodensättigungsextrakt, kommen alle diejenigen Proben zur Darstellung, in denen der Prüfwert Boden⇒Grundwasser überschritten wird.

Die Darstellung der Gesamtgehalte der Unterböden trägt informativen Charakter, da die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden⇒Mensch und Boden⇒Pflanze auf die Gehalte im mineralischen Oberboden abzielen.

4 Auswertung des Datenbestandes hinsichtlich der Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die einzelnen Wirkungspfade

4.1 Wirkungspfad Boden⇒Mensch, direkte Aufnahme von Schadstoffen

Für den Pfad Boden⇒Mensch (orale, dermale Aufnahme) wurden in der BBodSchV Prüfwerte auf der Grundlage der KW-Gehalte der Feinbodenfraktion festgelegt (Anhang, Tab. 1). Mit dem vorliegenden Datensatz kann der vorgegebene Teufenbereich 0 bis 35 cm (Grabschicht Kinder) hinreichend belegt werden, wenn auch die Probenzahl innerhalb der Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen geringer ist als außerhalb. Zur inhalativen Aufnahme durch Windverwirbelung der Böden können keine Aussagen getroffen werden, da eine dafür notwendige Probenahme von 0 bis 2 cm und Probenaufbereitung, Herstellung der Fraktion <63 µm, bisher nicht durchgeführt wurde.

Für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch ist von den untersuchten Parametern nur das Element As relevant.

Kinderspielflächen

Auf sämtlichen untersuchten Kinderspielplätzen wurde der As-Prüfwert von 25 mg/kg überschritten (ZEHNER & MANN, 1994). Aufgrund der flächenhaften Verteilung der As-Gehalte im Oberboden (Abb. 7, Abb. 8) kann davon ausgegangen werden, dass der Prüfwert im Untersuchungsgebiet generell überschritten wird. Von den 534 bearbeiteten Proben weist lediglich eine Probe einen As-Gehalt <25 mg/kg auf.

Wohngebiete

Während die Arbeiten der Bodenmessnetze des LfUG mehr auf die flächenhafte Erfassung schädlicher Bodenbelastungen ausgerichtet waren, liegen von Zehner & Mann (1994) und von Auftragsarbeiten der Kommunen eine Reihe von Untersuchungen aus den Wohngebieten bzw. potentiellen Planungsgebieten vor. Die vorgefundenen As-Gehalte liegen sämtlich über dem Prüfwert von 50 mg/kg und reichen teilweise bis über 1000 mg/kg.

Vom Gesamtdatenbestand überschreiten 97,6 % den Prüfwert von 50 mg/kg im mineralischen Oberboden. Lediglich im Südosten des Untersuchungsgebietes (Schönfeld – Wiesa) ist davon auszugehen, dass größere Areale Gehalte unterhalb des Prüfwertes aufweisen.

Park- und Freizeitanlagen

Prüfwertüberschreitungen bei As (>125 mg/kg) sind im gesamten Kerngebiet des Untersuchungsgebietes festzustellen (Geyer – Geyerscher Teich – Greifensteine – Ehrenfriedersdorf; Abb. 8.) und betreffen nahezu den gesamten Naherholungsbereich rund um den Geyerschen Teich und das Greifensteingebiet.

Industrie/Gewerbe

Der As-Prüfwert für Industrie und Gewerbe liegt mit 140 mg/kg nur unwesentlich über dem Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen. Da diese Isokonzentrate nahezu mit der Isokonzentrate für Park- und Freizeitanlagen identisch ist, wurde auf eine gesonderte Darstellung verzichtet (Abb. 8). Auf Grund der flächenhaften Verteilung der As-Gehalte kann davon ausgegangen werden, dass die gesamte Ortslage von Ehrenfriedersdorf und zum großen Teil von Geyer von den Prüfwertüberschreitungen betroffen sind.

4.2 Wirkungspfad Boden⇒Nutzpflanze, Schadstoffübergang im Hinblick auf die Pflanzenqualität und Wachstumsbeeinträchtigungen

Ackerbau, Gartenbau und Nutzgärten

Während für die Beurteilung des Schadstoffübergangs Boden⇒Nutzpflanze nach BBodSchV für As die Gesamtgehalte des Königswasserauszugs gelten, sind für Cd, Pb und Tl die mobilen Gehalte nach NH_4NO_3 -Extraktion anzuwenden.

Arsen

Bei den As-Gesamtgehalten wird der Prüfwert von 200 mg/kg vor allem auf den Acker- und Nutzgartenstandorten um die Ortslagen Ehrenfriedersdorf und Geyer im Einflussbereich der ehemaligen As-Hütten und in den Zentren der Zinn-Arsen-Mineralisationen überschritten (Abb. 10). Vereinzelt Prüfwertüberschreitungen südlich Jahnsbach sind auf die Auswirkungen der Gifthütte Geyer zurückzuführen. Von 98 untersuchten Acker- und Nutzgartenstandorten wird auf 47 der Prüfwert von 200 mg/kg überschritten (48 %).

Da der Gesetzgeber einen zweiten As-Prüfwert für Böden mit zeitweise reduzierenden Bedingungen vorschreibt (50 mg/kg), wurden in Abb. 6 auch jene Standorte vermerkt, wo dieser Prüfwert überschritten wird, ohne konkret feststellen zu können, ob am jeweiligen Standort tatsächlich teilweise reduzierende Verhältnisse vorhanden sind. Da unter den vorliegenden klimatischen und Standortverhältnissen zum großen Teil derartige Verhältnisse angenommen werden müssen (vgl. Abb. 6, u. a. Bodenklassen Gleye, Pseudogleye), wird der Prüfwert von 50 mg/kg (bis 200 mg/kg) wahrscheinlich an weiteren 47 Standorten überschritten (maximal 96 %).

Im Hinblick auf Wachstumsstörungen wird nach BBodSchV ein mobiler As-Gehalt (Prüfwert) von 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ festgelegt. Ein derartiges Gehaltsniveau findet sich vor allem in der Siedlung südlich des Kreyervorwerks (4 Nutzgärten) und nördlich vom Sauberg (2 Ackerstandorte, Abb. 12).

Cadmium

Für Cd wird für einen Schadstoffübergang Boden⇒Nutzpflanze der mobile Elementanteil herangezogen und nach BBodSchV als zweistufiger Maßnahmenwert (40 und 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$) definiert.

Der Cd-Maßnahmenwert für Brotweizenanbau und hochanreichernde Gemüsearten (40 $\mu\text{g}/\text{kg}$) wird an 16 Einzelpunkten im Untersuchungsgebiet überschritten. Mobile Cd-Gehalte >100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ wurden auf 7 Standorten festgestellt (Abb. 22, u. a. 2 Nutzgärten, 2 Getreideflächen).

Unter Berücksichtigung des Cd-Prüfwertes von 2 mg/kg für Haus- und Nutzgärten (Anhang Tab. 2) sind keine flächenhaften Überschreitungen im Untersuchungsgebiet feststellbar (Abb. 20). Gehalte > 2 mg/kg betreffen ausschließlich die Nutzungsarten Acker, Grünland und Forst.

Blei

Analog zum Cd wird für Pb der mobile Elementanteil für den Schadstoffübergang Boden⇒Nutzpflanze herangezogen, aber als Prüfwert (100 $\mu\text{g}/\text{kg}$) definiert (Anhang Tab. 2).

Von 76 untersuchten Proben der Nutzungsart Acker wurden in 27 Proben Pb_{mob} -Gehalte >100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ festgestellt (Abb. 32).

Thallium

Mobile TI-Gehalte oberhalb des Prüfwertes von 100 µg/kg wurden auf keinem der Ackerstandorte angetroffen (Abb. 41).

Grünland

Für die Nutzungsart Grünland wurden für den Schadstoffübergang Boden⇒Nutzpflanze in der BBodSchV ausschließlich Maßnahmenwerte festgeschrieben, die sich auf die Gesamtgehalte beziehen (Anhang Tab. 2).

Überschreitungen des As-Maßnahmenwertes von 50 mg/kg sind in großen Teilen des Untersuchungsgebietes festzustellen (vgl. Abb. 9), insbesondere aber auf den Grünlandflächen um Ehrenfriedersdorf und Geyer. Von insgesamt 112 Proben mit der Nutzungsart Grünland wird in 108 Proben der Maßnahmenwert überschritten.

Für die Elemente Cd, Pb und TI sind keine Überschreitungen festzustellen.

4.3 Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser

Zur Abschätzung von Metall- und Metalloidkonzentrationen sowie von anderen anorganischen Stoffen im Bodenwasser stehen direkte (Probenahme von Sickerwasser) und indirekte Verfahren (Bodensättigungsextrakt- und Säulenuntersuchungen, Umrechnungen aus Eluat- und Extraktionsgehalten und Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen) zur Verfügung.

Um die Stoffkonzentrationen im Bodenwasser abzuschätzen, können die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen nach DIN 19730 (NH₄NO₃-Extraktion) und DIN 38414-4 (Elution mit Wasser) herangezogen werden. In der DIN V 19735 „Ableitung von Konzentrationen im Bodenwasser aus ammoniumnitratextrahierbaren Gehalten oder Eluatgehalten“ werden zur Berechnung von Gehalten im Bodensättigungsextrakt vorläufige Regressionsfunktionen empfohlen.

Da bei den Arbeiten des LfUG eine Vielzahl von Proben auf Eluatgehalte (Bewertung nach LAGA-TR) sowie NH₄NO₃-extrahierbarer Gehalte (Bewertung Pfad Boden-Pflanze) im Ober- und Unterboden untersucht wurden, kann eine Beurteilung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser auf Grundlage o. g. DIN V vorgenommen werden. Für die Zentren der Bodenbelastungen, Ehrenfriedersdorf – Greifensteingebiet – Gifhütte Geyer – Geyer, liegen für diese Untersuchungen flächendeckende Daten vor (vgl. Abb. 11, Abb. 13).

Tab. 3: Überschreitungen Prüfwert Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser, abgeleitet aus den eluierbaren und ammoniumnitratextrahierbaren Elementanteilen (DIN V 19735):

	Element	Prüfwert Bodensätt.-extrakt	Prüfwert Eluat	Prüfwertüberschreitung %	Prüfwert NH ₄ NO ₃ -Extrakt	Prüfwertüberschreitung %
Oberboden	As	10	10	93	18	95
	Cd	5	1,5	48	81	27
	Pb	25	10	69	180	24

Unter- boden	As	10	10	68	18	43
	Cd	5	1,5	11	81	29
	Pb	25	10	63	180	31

Im Ergebnis der Anwendung der DIN V 19735 auf den vorliegenden Datenbestand ist folgender Sachstand festzustellen:

- Die Umrechnung der Eluat- und mobilen Elementgehalte führen mit Ausnahme des Arsens im Oberboden zu unterschiedlichen Aussagen hinsichtlich der Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen.
- Unter Vorbehalt der Umrechnungsmethoden ist davon auszugehen, dass der As-Prüfwert im Oberboden im Raum Geyer – Gifhütte Geyer – Ehrenfriedersdorf nahezu flächendeckend überschritten wird (>90 % Prüfwertüberschreitungen, vgl. Abb. 11, Abb. 14). Dies betrifft sowohl den Einflussbereich der historischen As-Hütten als auch die Zentren der Zinn-Arsen-Vererzungen. Im Unterboden gehen die Prüfwertüberschreitungen auf ca. 50 % zurück (Abb. 17, Abb. 19).
- Prüfwertüberschreitungen für Cd sind in den Oberböden (Abb. 21, Abb. 24) und Unterböden (Abb. 27, Abb. 29) feststellbar, auch wenn die Ergebnisse beider Methoden stärker als bei As differieren.
- Für Pb ist ebenfalls eine Reihe von Prüfwertüberschreitungen festzustellen. Je nach Umrechnungsmethode liegen die Anteile für die Ober- und Unterböden eng beieinander, wobei nach der Berechnung aus den Eluaten die Überschreitungen deutlich geringer ausfallen als bei den mobilen Gehalten. Besonders starke Überschreitungen sind im Oberboden in der Umgebung der Altstandorte „Gifhütte Geyer“ und „Siebenhöfen“ südlich von Geyer nachweisbar (Abb. 32, Abb. 34). Aufgrund stark steigender Pb-Mobilität bei niedrigen pH-Werten, treten Prüfwertüberschreitungen vor allem auf Forststandorten auf.

5 Zusammenfassung

Der Raum Ehrenfriedersdorf – Geyer weist die höchsten flächenhaften As-Bodenbelastungen im Freistaat Sachsen auf, die in ursächlichem Zusammenhang mit der Bildung der Zinnmineralisationen sowie den Altstandorten historischer As-Hütten und Erzaufbereitungsanlagen zu sehen sind.

Für das Kerngebiet mit den Ortslagen Ehrenfriedersdorf und Geyer, dem Greifensteingebiet und der „Gifhütte Geyer“, ist eine flächenhafte Überschreitung der Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch, Nutzungsart Kinderspielfläche und Wohngebiet (25 bzw. 50 mg/kg) im Oberboden festzustellen. Der Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen sowie von Industrie- und Gewerbegrundstücken (125 bzw. 140 mg/kg) wird auf ca. 80 % desselben Bereiches überschritten.

Für den Wirkungspfad Boden⇒Nutzpflanze, Nutzungsart Grünland kommt es mit Ausnahme des südöstlichen Gebietes (Schönfeld – Wiesa) fast zu einer flächendeckenden Überschreitung des As-Maßnahmenwertes von 50 mg/kg. Für die Nutzungsart Acker ist in Abhängigkeit von den jeweiligen bodenkundlichen Verhältnissen mit großflächigen Überschreitungen der As-Prüfwerte (200 bzw. 50 mg/kg) zu rechnen. Teilweise kommt es zu Überschreitungen der Maßnahmewerte für mobile Cd-Gehalte (40 bzw. 100 µg/kg) und des Prüfwertes für mobile Pb-Gehalte (100 µg/kg). Durch die Landesanstalt für Landwirtschaft wurde mehrfach eine Überschreitung der zulässigen As-Gehalte in Futtermitteln nachgewiesen (u. a. DITTRICH et al., 1996).

Die Beurteilung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser erfolgt anhand der Bestimmung der Elementanteile in Eluaten und der mobilen Gehalte mittels NH_4NO_3 -Extraktion. Unter Anwendung der DIN V 19735 ist für den Oberboden eine flächenhafte Überschreitung des

As-Prüfwertes und einer teilweisen Überschreitung der Cd- und Pb-Prüfwerte in den Zentren der Zinnmineralisationen und im Bereich der Altstandorte von As-Hütten zu konstatieren. Im Unterboden gehen die Prüfwertüberschreitungen für As bis zu 50 % zurück. Als Ursache wird eine hohe Verfügbarkeit/Löslichkeit anthropogener As-Anteile im Oberboden gesehen, die im Unterboden stark zurückgeht.

Aufgrund der niedrigen pH-Werte der Forststandorte können in Waldböden verstärkt Schwermetalle in Lösung gehen, was in besonderem Maße für Pb gilt.

6 Schlussfolgerungen

Aufgrund der vorliegenden umfangreichen Daten wird nachgewiesen, dass die festgesetzten Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden⇒Mensch, Boden⇒Nutzpflanze und Boden⇒Grundwasser punktweise bzw. flächenhaft überschritten werden. Entsprechend § 9, Abs. (1) BBodSchG soll die zuständige Behörde die notwendigen Maßnahmen treffen, um festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. In einem zweiten Schritt wäre daher ein Abgleich dieser Flächen gegen das SALKA vorzunehmen.

Bezüglich der Datenlage ist zu bemerken, dass die vorliegenden Bodenanalysen für eine flächenhafte Bewertung seitens des LfUG als ausreichend betrachtet werden.

Da das Bodenschutzrecht bei Anhaltspunkten für eine schädliche Bodenveränderung grundsätzlich eine einzelfallbezogene Gefährdungsabschätzung und Gefahrenbeurteilung vorsieht, ist zu prüfen, ob sich gebietsbezogene Maßnahmen des Bodenschutzes mit der Ausweisung eines Bodenplanungsgebietes praktikabel und kostensparend realisieren lassen. Positive Erfahrungen wurden diesbezüglich im Landkreis Goslar (Harz) gemacht, wo flächenhafte Bodenbelastungen mit As, Cd und Pb vorliegen (RICKELS & VAHLDIEK, 2000).

Infolge der massiven flächenhaften Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte für alle Wirkungspfade im Bewertungsgebiet, wird seitens des LfUG für den Raum Ehrenfriedersdorf – Geyer die Ausweisung eines Bodenplanungsgebietes empfohlen.

7 Literatur

- ADAMSKI, B.; PÄLCHEN, W. & ZYBELL, H. (1980): Ergebnisbericht über pedogeochemische Prospektionsarbeiten im Erzgebiet Ehrenfriedersdorf, Teilgebiet Ehrenfriedersdorf Ost, im Maßstab 1:10 000. – unveröff. Ber., ZGI Berlin, Arb.-stelle Freiberg (Archiv LfUG).
- BBODSCHG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens. – Bundesgesetzbl., 16, S. 502-510, Bonn.
- BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). – Bundesgesetzbl. 36, S. 155-1582, Bonn.
- BERGHOF-ANALYTIK (1993): Bericht zur Untersuchung der Arsenbelastung des geplanten Eigenheimstandortes Seifentalstr. in Ehrenfriedersdorf. – unveröff. Ber. i. A. d. Stadtverwaltung Ehrenfriedersdorf.
- BERGHOF-ANALYTIK (1993): Bericht zur Untersuchung der Arsenbelastung des Standortes Wohnanlage Kreyerberg. – unveröff. Ber. i. A. d. Stadtverwaltung Ehrenfriedersdorf.
- BERGHOF-ANALYTIK (1994): Bericht zur Untersuchung der Arsenbelastung des geplanten Eigenheimstandortes in Ehrenfriedersdorf Flurstück 682/4 (682/1) Lange Gasse. – unveröff. Ber. i. A. d. Stadtverwaltung Ehrenfriedersdorf.
- DIN 19730 (1997): Bodenbeschaffenheit - Extraktion von Spurenelementen mit Ammoniumnitratlösung. – Deutsches Institut für Normungen e. V., Berlin.
- DIN V 19735 (1999): Ableitung von Konzentrationen im Bodenwasser aus ammoniumnitratextrahierbaren Gehalten oder Eluatgehalten. – Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Berlin.
- DITTRICH, B.; KLOSE, R. & LAVES, D. (1996): Ergebnisse zum Schwermetalltransfer Boden-Pflanze (Sachsens Beitrag zum länderübergreifenden Programm). – unveröff. Ber., Sächs. Landesanst. f. Landwirtschaft, Leipzig.
- E & E UMWELT-BERATUNG GMBH (1998): Historische Erkundung von Altstandorten und Altablagerungen im Raum Ehrenfriedersdorf und Geyer. – unveröff. Ber. i. A. LRA Annaberg-Buchholz.
- GRÜN, M.; POHL, A. & WENDLER, F. (1993): Gefährdungsabschätzung der Arsenbelastung im Umfeld des Greifenbachstauweihers. – unveröff. Ber., Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena.
- HERTWIG, TH. (1999): Differenzierung geogener und anthropogener Stoffanteile in Bodenbelastungsgebieten. – unveröff. Ergebnisber., FuE-Vorhaben LfUG, beak Consultants GmbH Freiberg.
- HERTWIG, TH. & SCHYNSCHETZKI, H. (2000): Altstandort „Erzgebirgische Dynamitfabrik zu Geyer“, Detailuntersuchung. – unveröff. Ber., beak Consultants GmbH Freiberg, i. A. des LRA Stollberg.
- LAGA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1994): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen - Technische Regeln. - Handbuch Bodenschutz 17. Lfg. XI/94, Nr. 9250, Berlin: E. Schmidt.
- RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W.; SYMMANGK, R. & WEIDENSDÖRFER, H. (1997): Bodenmeßprogramm des Freistaates Sachsen, Bodenmeßnetz Ehrenfriedersdorf. - Mat. z. Bodenschutz, LfUG Radebeul.
- RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W. & WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3 Bodenmessnetz Raster 4 km x 4 km. – Mat. z. Bodenschutz, LfUG Dresden.
- ROSCHER, O. & BÜCHNER, C. (1984): Pedogeochemie Mittelerzgebirge – Erzgebiet Ehrenfriedersdorf. – unveröff. Ber. VEB GFE Freiberg (Archiv LfUG).
- ROSCHER, O.; BÜCHNER, C.; OTTE, P. & PÄLCHEN, W. (1986): Pedogeochemie Mittelerzgebirge – Erzgebiet Annaberg - Ehrenfriedersdorf. – unveröff. Ber. VEB GFE Freiberg (Archiv LfUG).
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (1992): Untersuchung sächsischer Böden auf Belastungen mit Schwermetallen und organischen Rückständen. - unveröff. Ber., LfL Leipzig.
- RICKELS, M. & C. VAHLDIK (2000): Gebietsbezogene Handlungskonzepte nach § 21 Abs. 3 BBodSchG. – Bodenschutz, 2, 2000, S. 47-52.

- SCHWARZ, TH. & LENK, R. (1991): Bericht zu den ersten Untersuchungen über die Auswirkungen der Arsen-Belastung im Sauberggebiet Ehrenfriedersdorf auf die Kontaminationskette Boden-Pflanze-Tier-Lebensmittel tierischer Herkunft. – unveröff. Ber., Bezirks-hygieneinst. Veterinärwesen Chemnitz.
- SPORBERT, U. (1996): Geochemische Untersuchungen zur Arsenproblematik im Gebiet von Ehrenfriedersdorf. – unveröff. Dipl.-Arb., TU Bergakademie Freiberg.
- UTERMANN, J.; DÜWEL, O.; FUCHS, M.; GÄBLER, H.-E.; GEHRT, E.; HINDEL, R. & SCHNEIDER, J. (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. – Endber. FuE-Vorhaben des UBA (Proj.-Nr. 297 71 010), Bundes-anstalt f. Geow. u. Rohstoffe, Hannover, 179 S.
- ZEHNER & MANN (1993): Untersuchung und Bewertung der Bodenbelastung mit Arsen im Raum Ehrenfriedersdorf. - unveröff. Ber., BiLaCon GmbH, Stollberg (Archiv LfUG).

8 Tabellenverzeichnis (Anhang)

- Tab. 1: Datenbestände „Stoffliche Untersuchungen der Böden im Raum Ehrenfriedersdorf - Geyer“ (größere Projekte)
- Tab. 2: Beurteilung der Wirkungspfade nach BBodSchV (1999), Prüf- und Maßnahmenwerte

9 Abbildungsverzeichnis (Anlagenband)

- Abb. 1: Pedogeochemische Prospektion Ehrenfriedersdorf – Annaberg, Arsen im Unterboden
- Abb. 2: Lage der Probenahmepunkte
- Abb. 3: Vereinfachte Geologische Karte
- Abb. 4: Karte der Mineralisationen, Standorte und Ablagerungen des Altbergbaus
- Abb. 5: Karte der Bodennutzung
- Abb. 6: Vereinfachte Bodenkarte
- Abb. 7: Arsen im mineralischen Oberboden (Rasterkarte)
- Abb. 8: Arsen im mineralischen Oberboden (Isolinienkarte)
- Abb. 9: Arsen im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Grünland
- Abb. 10: Arsen im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau/Nutzgarten
- Abb. 11: Mobile Arsen-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden
- Abb. 12: Mobile Arsen-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau/Nutzgarten
- Abb. 13: Eluierbare Arsen-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden
- Abb. 14: Zuordnung der eluierbaren Arsen-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden nach LAGA-TR
- Abb. 15: Arsen im Unterboden (Rasterkarte)
- Abb. 16: Arsen im Unterboden, Zuordnung der Gesamtgehalte nach LAGA-TR
- Abb. 17: Mobile Arsen-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im Unterboden
- Abb. 18: Eluierbare Arsen-Gehalte (DEV S4) im Unterboden
- Abb. 19: Eluierbare Arsen-Gehalte (DEV S4) im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
- Abb. 20: Cadmium im mineralischen Oberboden
- Abb. 21: Mobile Cadmium-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden
- Abb. 22: Mobile Cadmium-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau/Nutzgarten
- Abb. 23: Eluierbare Cadmium-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden
- Abb. 24: Eluierbare Cadmium-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden, Zuordnung nach LAGA-TR
- Abb. 25: Cadmium im Unterboden
- Abb. 26: Cadmium im Unterboden, Zuordnung der Gesamtgehalte nach LAGA-TR

- Abb. 27: Mobile Cadmium-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im Unterboden
- Abb. 28: Eluierbare Cadmium-Gehalte (DEV S4) im Unterboden
- Abb. 29: Eluierbare Cadmium-Gehalte (DEV S4) im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
- Abb. 30: Blei im mineralischen Oberboden
- Abb. 31: Mobile Blei-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden
- Abb. 32: Mobile Blei-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau/Nutzungsgarten
- Abb. 33: Eluierbare Blei-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden
- Abb. 34: Eluierbare Blei-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Oberboden, Zuordnung nach LAGA-TR
- Abb. 35: Blei im Unterboden
- Abb. 36: Blei im Unterboden, Zuordnung der Gesamtgehalte nach LAGA-TR
- Abb. 37: Mobile Blei-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im Unterboden
- Abb. 38: Eluierbare Blei-Gehalte (DEV S4) im Unterboden
- Abb. 39: Eluierbare Blei-Gehalte (DEV S4) im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
- Abb. 40: Thallium im mineralischen Oberboden
- Abb. 41: Mobile Thallium-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im mineralischen Oberboden
- Abb. 42: Thallium im Unterboden
- Abb. 43: Mobile Thallium-Gehalte (NH_4NO_3 -Extraktion) im Unterboden
- Abb. 44: pH-Wert im mineralischen Oberboden
- Abb. 45: pH-Wert im Unterboden

Anhang

Tab. 1: Datenbestände „Stoffliche Untersuchungen der Böden im Raum Ehrenfriedersdorf-Geyer“ (größere Projekte)

Lfd.-Nr.	1	2	3	4
Datenbestand/Projekt	Bodenmessnetz Raster 1 km x 1 km Ehrenfriedersdorf	Bodenmessnetz Raster 1 km x 1 km Ehrenfriedersdorf	Sondermessnetz Ehrenfriedersdorf	FuE-Vorhaben LfUG Stoffherkunft in Bodenbelas- tungsgebieten
Autor/Institution	RANK et al., 1997, LfUG, Materia- lien zum Bodenschutz	RANK et al., 1997, LfUG, Materia- lien zum Bodenschutz	RANK et al., 1999, LfUG unveröff. Daten	Beak Freiberg
Zeitraum Datenerhebung	1993-1997	1993-1997	1997-1999	1997-1999
Untersuchungszweck	Verdichtende Untersuchungen im Rahmen Bodenmessprogramm Sachsen,	Verdichtende Untersuchungen im Rahmen Bodenmessprogramm Sachsen	Verdichtende Untersuchungen in Schwerpunktgebieten stofflicher Bodenbelastungen	Trennung geogener und anthro- pogener Stoffanteile
Untersuchungsart	Schürfe	Raster 1 x 1 km, z. T. dichter	Verdichtung bis max. 100 x 100 m	Schürfe
Probenahmepunkte Raum Ehrenfriedersdorf	15	148	330	5
Probenzahl	61	370	730	16
Art der Probenahme	horizontbezogen	horizontbezogen	horizontbezogen	horizontbezogen
Beprobte Horizonte	Org. Auflage (Oh-Horiz.); minera- lischer Oberboden, Unterboden, Untergrund	Org. Auflage (Oh-Horiz.); minera- lischer Oberboden, Unterboden, Untergrund	Org. Auflage (Oh-Horiz.); minera- lischer Oberboden, Unterboden	mineralischer Oberboden, Unter- boden, Untergrund
Untersuchte Kornfraktion	<2 mm, >2 mm	<2 mm	<2 mm	<2 mm
Elementspektrum	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, As _{mob} , Cd _{mob} , Cu _{mob} , Cr _{mob} , Hg _{mob} , Ni _{mob} , Pb _{mob}	As, Cd, Cu, Cr, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , As _{H2O} , Cd _{H2O} , Pb _{H2O}	As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Tl As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , Tl As _{H2O} , Cd _{H2O} , Pb _{H2O} , Tl _{H2O}	As, Cd, Pb, Tl u.a.
Probenaufschluss, Analyseverfahren	Totalgehalte, Hg Königswasser mob.-Gehalte NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN 19730 Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 am Feinboden; AAS	Totalgehalte, Hg Königswasser mob.-Gehalte NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN 19730 Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 am Feinboden; AAS	Totalgehalte mob.-Gehalte NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN 19730; Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 am Feinboden, AAS	KW-Gehalte, sequentielle Extrak- tion verschiedener Fraktionen mob.-Gehalte NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN 19730; AAS
Bewertung der Probenahme- und Analyseverfahren nach BBodSchV	Probenahme und Analytik ent- sprechen Anforderungen der BBodSchV, Pb-Total- in KW- Gehalte umrechnen	Probenahme und Analytik ent- sprechen Anforderungen der BBodSchV, Pb-Total- in KW- Gehalte umrechnen	Probenahme und Analytik ent- sprechen Anforderungen der BBodSchV, Pb-Total- in KW- Gehalte umrechnen	Probenahme und Analytik ent- sprechen Anforderungen der BBodSchV

Lfd.-Nr.	5	6	7	8
Datenbestand/Projekt	Geochem. Untersuchungen zur As-problematik im Gebiet E.-dorf	As-Belastung Seifentalstraße	Untersuchung u. Bewertung der Bodenbelastung mit As im Raum E.-dorf	Arsenbelastung Wohnanlage Kreyerberg
Autor/Institution	SPORBERT, TU BA Freiberg, Dipl.-Arb.	Fa. Berghof	Fa. BiLaCon	Fa. Berghof
Zeitraum Datenerhebung	1996	1993	1994	1994
Untersuchungszweck	Untersuchung quellenspezifischer Merkmale As	Untersuchung Wohnstandort i. A. der Stadt E.-dorf	WV i. A. des LfUG	Untersuchung Wohnstandort i. A. der Stadt E.-dorf
Untersuchungsart	Schürfe	Punktproben	Punktproben	Rammkernsondierung
Probenahmepunkte Raum Ehrenfriedersdorf	13	40	10	5
Probenzahl	41	40	23	5
Art der Probenahme	horizontbezogen	nach Tiefenstufen 0 bis 30 cm und 80-100 cm	nach Tiefenstufen	nach Tiefenstufen, 0 bis 30 cm
Beprobte Horizonte	mineralischer Oberboden, Unterboden, Untergrund	„Kulturboden“, Untergrund	„Kulturboden“, sensible Nutzungsbereiche	„Kulturboden“
Untersuchte Kornfraktion	<2 mm	<2 mm	<2 mm	<2 mm
Elementspektrum	As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn dito Eluate,	As	As, As-Eluate	As, As-Eluate
Probenaufschluss, Analysenverfahren	Königswasser DIN 38414-S7, Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 sequentielle Extraktion AAS	Königswasser DIN 38414-S7, Salzsäureextrakt AAS	Königswasser DIN 38414-S7 Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 AAS	Königswasser DIN 38414-S7 Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 AAS
Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen i. W. Anforderungen der BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen i. W. Anforderungen der BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen i. W. Anforderungen der BBodSchV

Lfd.-Nr.	9	10	11
Datenbestand/Projekt	Arsenbelastung Wohnanlage Lange Gasse	Detailuntersuchung „Erzgeb. Dynamitfabrik Geyer“	Zinn Ehrenfriedersdorf - Anna-berg
Autor/Institution	Fa. Berghof	Beak Freiberg	VEB GFE Freiberg
Zeitraum Datenerhebung	1994	2000	1978-1986
Untersuchungszweck	Untersuchung Wohnstandort i. A. der Stadt E.-dorf	Untersuchung Gelände des Altstandortes	Zinnerzsuche
Untersuchungsart	Rammkernsondierung	Rammkernsondierung	Pedogeochemische Prospektion Punktprobe
Probenahmepunkte Raum Ehrenfriedersdorf	10	17	39 000
Probenzahl	10	70	39 000
Art der Probenahme	nach Tiefenstufen, 0 bis 30, 70 bis 100, 100 bis 120 cm	horizontbezogen	
Beprobte Horizonte	„Kulturboden“, Unterboden	Oberboden, Unterboden, Untergrund	Unterboden
Untersuchte Kornfraktion	<2 mm	<2 mm	Gesamtprobe, Steine ausgelesen
Elementspektrum	As	As	As, Sn u.a.
Probenaufschluss, Analysenverfahren	Königswasser DIN 38414-S7 AAS	Königswasser DIN 38414-S7 Eluat-Gehalte DIN 38414 Teil 4 AAS	Totalgehalte, Pulverschüttverfahren
Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen i. W. Anforderungen der BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen i. W. Anforderungen der BBodSchV	Probenahme und Analytik entsprechen nicht Anforderungen der BBodSchV; aufgrund der hohen Probendichte hoher Indikationswert für Bereiche mit möglichen Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte

Tab. 2: Beurteilung der Wirkungspfade nach BBodSchV (1999)

Pfad	Boden - Mensch					Boden - Nutzpflanze						Boden - Grundwasser	
						Ackerbau, Gartenbau			Grünland				
Probenahme	>10 000 m ² Beprobung mind. von 10 Teilflächen Flächen bis 10 000 mind. 3 Teilfl., je 1 Mischprobe <500 m ² kann auf Teilflächen verzichtet werden 15 - 25 Einstiche/Teilfläche					<5 000 m ² = 1 Teilfläche, 1 Mischprobe bis 10 ha mind. 3 Teilflächen, je 1 Mischprobe >10 ha mind. 10 Teilflächen, je 1 Mischprobe 15 - 25 Einstiche/Teilfläche auf Landwirtschaftsflächen						horizont- und schichtspezifisch	
Beprob.- tiefe	0 - 10 cm oral/dermal/Parks/Industriegebiet/Wohngebiet 10 - 35 cm "Grabeschicht" Kinder 0 - 2 cm inhalativ/Staub, Fraktion <63 µm					0 - 30 cm Bearb.-horizont 0 - 60 cm Hauptwurzelbereich			0 - 10 cm Bearb.-horizont 10 - 30 cm Hauptwurzelbereich			im Untergrund Tiefenintervalle bis max. 1 m	
	Prüfwerte mg/kg					Proben- aufschluss; Einheit	Prüfwert	Maßnah- menwert	Proben- aufschl.	Prüfwert	Maßnah- menwert	Proben- aufschluss	Prüf- wert
	Proben- aufschluss	Kinder- spielfl.	Wohn- gebiet	Parks/ Freizeitanl.	Industrie/ Gewerbe								
Pb	KW	200	400	1000	2000	AN; µg/kg	100		KW		1200		25
Cd	KW	10 ⁴⁾	20	50	60	AN; µg/kg	40	40 ²⁾ 100	KW		20		5
As	KW	25	50	125	140	KW; mg/kg	50 ¹⁾ ; 200		KW		50		10
TI						AN; µg/kg	100		KW		15		
Hg	KW	10	20	50	80	KW; mg/kg	5		KW		2	Boden- sättig.- extrakt	1
Cu											200 ³⁾ 1300		50
Ni	KW	70	140	350	900						1900		50
Sb													10
Cr _{ges}	KW	200	400	1000	1000							(Elution mit Wasser)	50
Chromat													8
Co													50
Mo													50
Se												(AN)	10
Zn													500
Sn													40
Fluorid													750

KW: Königswasserextraktion DIN ISO 11466:06.97

AN: Ammoniumnitratextraktion DIN 19730:06.97

SPS: Salpetersäureextraktion VDLUFA (1996)

1) für Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen

2) Brotweizenanbau u. hoch anreichernde Gemüsearten

3) Nutzung durch Schafe

4) In Haus- und Kleingärten 2 mg/kg