

Sachstandsbericht

Landesamt für Umwelt und Geologie

Die Schwermetallgehalte der Böden des Freiburger Raumes für die Bewertung der Gefährdungspfade Boden \Rightarrow Mensch, Boden \Rightarrow Nutzpflanze und Boden \Rightarrow Grundwasser nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)

Stand 01.06.2001

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

| Inhaltsverzeichnis: | | Seite |
|----------------------------|---|--------------|
| 1 | Vorwort | 5 |
| 2 | Recherche und Prüfung der vorliegenden Datenbestände zu stofflichen Untersuchungen im Raum Freiberg | 5 |
| 2.1 | Recherchierte Datenbestände | 5 |
| 2.2 | Prüfung auf Vergleichbarkeit der Datenbestände | 6 |
| 2.3 | Validierter Datenbestand zur Beurteilung der Böden nach BBodSchV | 8 |
| 3 | Statistische Bearbeitung und Kartendarstellungen | 8 |
| 4 | Auswertung des Datenbestandes hinsichtlich der Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die einzelnen Wirkungspfade nach BBodSchV | 11 |
| 4.1 | Wirkungspfad Boden⇒Mensch, direkte Aufnahme von Schadstoffen | 11 |
| 4.2 | Wirkungspfad Boden⇒Nutzpflanze, Schadstoffübergang im Hinblick auf die Pflanzenqualität und Wachstumsbeeinträchtigungen | 12 |
| 4.3 | Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser | 13 |
| 5 | Zur Spurenelementverteilung auf Forststandorten | 13 |
| 6 | Spurenelementgehalte auf Halden | 15 |
| 7 | Zusammenfassung und weitere Vorgehensweise | 15 |
| 8 | Literatur | 16 |

Tabellenverzeichnis (Anhang)

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

Abbildungsverzeichnis (Anlagenband)

- Abb. 1: Vereinfachte Geologische Karte
Abb. 2: Erzgänge und Hüttenstandorte
Abb. 3: Karte der Bodennutzung
Abb. 4: Räumliche Verteilung Analysendaten mineralischer Oberboden
Abb. 5: pH-Wert in der organischen Auflage, Oh-Horizont
Abb. 6: pH-Wert im mineralischen Oberboden
Abb. 7: pH-Wert im Unterboden
Abb. 8: Arsen in der organischen Auflage, Oh-Horizont
Abb. 9: Arsen im mineralischen Oberboden
Abb. 10: Arsen im mineralischen Oberboden (Isolinienkarte, Prüfwerte Pfad Boden⇒Mensch)
Abb. 11: Arsen im Unterboden
Abb. 12: Arsen im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
Abb. 13: Arsen im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Grünland
Abb. 14: Arsen im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau, Nutzgarten
Abb. 15: Mobile Arsen-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden
Abb. 16: Eluierbare Arsen-Gehalte (DEV S4) im Unterboden
Abb. 17: Zuordnung der eluierbaren Arsen-Gehalte (DEV S4) nach LAGA-TR, Unterboden
Abb. 18: Cadmium in der organischen Auflage
Abb. 19: Cadmium im mineralischen Oberboden
Abb. 20: Cadmium im mineralischen Oberboden (Isolinienkarte, Prüfwerte Pfad Boden⇒Mensch, Boden⇒Pflanze⇒Mensch)
Abb. 21: Cadmium im Unterboden
Abb. 22: Cadmium im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
Abb. 23: Mobile Cadmium-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden
Abb. 24: Mobile Cadmium-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden, Nutzungsart Ackerbau, Nutzgarten
Abb. 25: Eluierbare Cadmium-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Unterboden
Abb. 26: Zuordnung der eluierbaren Cadmium-Gehalte (DEV S4) nach LAGA-TR, Unterboden
Abb. 27: Blei in der organischen Auflage
Abb. 28: Blei im mineralischen Oberboden
Abb. 29: Blei im mineralischen Oberboden (Isolinienkarte, Prüfwerte Pfad Boden⇒Mensch)
Abb. 30: Blei im Unterboden
Abb. 31: Blei im Unterboden, Zuordnung nach LAGA-TR
Abb. 32: Mobile Blei-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden
Abb. 33: Mobile Blei-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden, Nutzungsarten Ackerbau, Nutzgarten
Abb. 34: Eluierbare Blei-Gehalte (DEV S4) im mineralischen Unterboden
Abb. 35: Zuordnung der eluierbaren Blei-Gehalte (DEV S4) nach LAGA-TR, Unterboden
Abb. 36: Thallium in der organischen Auflage
Abb. 37: Thallium im mineralischen Oberboden
Abb. 38: Thallium im Unterboden
Abb. 39: Mobile Thallium-Gehalte (NH₄NO₃-Extraktion) im mineralischen Oberboden
Abb. 40: Kupfer in der organischen Auflage
Abb. 41: Kupfer im mineralischen Oberboden

- Abb. 42: Kupfer im Unterboden
- Abb. 43: Zink in der organischen Auflage
- Abb. 44: Zink im mineralischen Oberboden
- Abb. 45: Zink im Unterboden
- Abb. 46: Halden, Arsen im Oberboden
- Abb. 47: Halden, Cadmium im Oberboden
- Abb. 48: Halden, Blei im Oberboden
- Abb. 49: Halden, Zink im Oberboden

1 Vorwort

Aufgrund der hohen geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastung im Raum Freiberg erfolgten in der Vergangenheit zahlreiche stoffliche Untersuchungen der Böden, die in der Probenahme, dem Probenaufschluss und der Analysenmethode dem jeweiligen Untersuchungszweck angepasst waren und folglich z. T. stark voneinander abweichen.

Nach Inkrafttreten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BMU, 1999) werden vom Gesetzgeber für die unterschiedlichen Wirkungspfade Prüf- und Maßnahmenwerte festgelegt, die auf einer standardisierten Datenerhebung basieren. Mit dem Sachstandsbericht (RANK et al., 1999) wurden alle dem LfUG vorliegenden Datenbestände auf die qualitativen Vorgaben der BBodSchV geprüft und z. T. durch Umrechnung der Altdaten validierte Datensätze erzeugt, die eine erste Beurteilung der Bodenanalysen zur Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für den Schadstoffübergang Boden \Rightarrow Mensch, Boden \Rightarrow Nutzpflanze und Boden \Rightarrow Grundwasser nach BBodSchV ermöglichten.

Zur Verbesserung der Datenlage wurde durch das LfUG im Jahr 2001 ein zweites Sondermessnetz abgeschlossen (600 Standorte mit 1256 Proben), welches vor allem in den Randbereichen, zusätzliche Informationen zum Übergang belasteter Bereich – unbelasteter Bereich erbringen sollte. Zum anderen wurden im Raum Hilbersdorf, Halsbrücke und Kleinwaltersdorf Verdichtungen auf 250 x 250 m vorgenommen, um über methodische Arbeiten Aussagen zur einer optimalen Probendichte zu erhalten (nicht Gegenstand des Sachstandsberichts).

Durch Einarbeitung der Altdaten der Dissertation KLINGER (1994) und der Nachuntersuchung von Proben der Dipl.-Arbeit BROSIG (1987) im Nordteil des Untersuchungsgebietes, konnte somit der validierte Datenbestand gegenüber dem Sachstandsbericht von 1999 fast verdoppelt werden.

Zusätzlich zu den „Leitparametern“ As, Cd, Pb wurden die Kartendarstellungen um die Elemente Cu und Zn sowie um die Darstellung der Elementverteilung in der organischen Auflage (Oh-Horizont) und im „Unterboden“ erweitert.

Die wirkungspfad- und nutzungsbezogene Auswertung der Daten und ihre Darstellung in Karten ermöglichen sowohl eine flächenhafte als auch standortbezogene Bewertung der Schutzgüter (49 Einzelkarten, Anlagenband). Für Vollzugsmaßnahmen ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Untersuchungsdichte nach Validierung des Datenbestandes 2 bis 4 Proben/km² beträgt und aufgrund unterschiedlich starker geogener und anthropogener Beeinflussungen die Schadstoffe im Boden sehr heterogen verteilt sein können. Dies ist vor allem dann zu berücksichtigen, wenn durch Vollzugspflichten Gebietsfestlegungen nach § 12 Abs. 10 BBodSchV erfolgen bzw. Bodenplanungsgebiete gem. § 9 SächsABG festgelegt werden sollen. Bei einer Einzelfallprüfung ist durch eine Neuuntersuchung zu prüfen, ob unter den jeweiligen Standortbedingungen für die maßgebliche Nutzung und die Schutzgüter eine Gefahr besteht.

2 Recherche und Prüfung der vorliegenden Datenbestände zu stofflichen Untersuchungen im Raum Freiberg

2.1 Recherchierte Datenbestände

Daten zum Stoffbestand der Freiburger Böden werden bereits seit mehreren Jahrzehnten erhoben. Insbesondere seit Ende der 60er Jahre (RÖSLER et al., 1969), aber vor allem im Zeitraum der politischen Wende, wurden durch verschiedene Institutionen und Arbeitsgruppen flächendeckende Untersuchungen vorgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Zielrichtungen (Landwirtschaft, Forschung, Umwelthygiene, Prospektion von Lagerstätten u. a.) kamen stark voneinander abweichende Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysenmethoden zum Einsatz. Da die ermittelten Analyseergebnisse nur im Rahmen der Einzelprojekte bewertet wurden, stellte sich die Frage der Vergleichbarkeit der Daten zu anderen Erhebungen nicht in diesem Maße wie sie heute bei der Zusammenführung und Auswertung von Analysen in Datenbanken bestehen.

Derzeit liegen dem LfUG Datenbestände aus 24 (größeren) Projekten und zahlreichen Einzelerhebungen vor, wovon nach Prüfung 19 in den vorliegenden Sachstandsbericht eingingen (vgl. Tab. 1).

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. Tab. 2)
- Zu untersuchende Kornfraktion (i. d. R. <2 mm)
- Probenaufschluss; Gesamtgehalte - Königswasser, mobile Gehalte - NH_4NO_3 -Extraktion, Eluate mit Filtrationsschritt
- Analysenmethoden, AAS, ICP-AES, ICP-MS.

Nutzungsorientierte bzw. horizontbezogene Beprobung

Die Datenbestände weisen grundsätzlich zwei unterschiedliche Beprobungskriterien auf – eine tiefenstufenbezogene (0 bis 20 und 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.

In einigen Projekten erfolgte keine oder nur eine unzureichende Dokumentation der Nutzungsart zum Zeitpunkt der Probenahme (AUERMANN et al., 1990). Diesen Proben wurde durch Verschneidung der Lagepunkte mit der Nutzungskarte (Abb. 3) DV-technisch die jeweilige Nutzung (Stand 1992) zugewiesen.

Kornfraktion

Die untersuchten Kornfraktionen sind in den einzelnen Datenbeständen sehr unterschiedlich, wobei das Korngrößenspektrum von der Gesamtprobe bis zur Fraktion <63 μm reicht. Zur Bewertung der Analyseergebnisse kommt der Kornfraktion, neben dem Aufschlussverfahren der Probe, die größte Bedeutung zu.

Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass die Schwermetallgehalte zur feineren Fraktion hin zunehmen. Durch höhere Quarzgehalte in den vorliegenden Verwitterungsböden kommt es bei höheren Anteilen der Fraktion >63 μm zu Verdünnungseffekten, wenn die Fraktion <2 mm untersucht wird (KLUGE et al., 1992). In einem FuE-Vorhaben des LfUG konnte an Proben des Freiburger Raumes nachgewiesen werden, dass bei den Elementen As, Cd und Pb in den Fraktionen 20 bis 63 μm (Grob Schluff) und <20 μm (Mittelschluff bis Ton) gegenüber den Sandfraktionen in Gebieten mit zusätzlichen anthropogenen Belastungen deutlich höhere Gehalte vorliegen (HERTWIG, 1999).

Nach BBodSchV sind für die Pfade Boden \Rightarrow Mensch (oral, dermal) und Boden \Rightarrow Nutzpflanze die Gesamtgehalte am Feinboden (<2 mm) zu bestimmen. Aufgrund der beschriebenen Anreicherungen in der Schluff-Tonfraktion musste deshalb der umfangreiche Datenbestand der TU Bergakademie Freiberg (VOLAND et al., 1990) bei der Bewertung der Vergleichbarkeit der Analysen ausgeschlossen werden. Im Umkehrschluss bleiben auch die Datenbestände unberücksichtigt, wo die Spurenelemente an der Gesamtprobe analysiert wurden (i. W. Daten der pedogeochemischen Prospektion). Hier kann davon ausgegangen werden, dass es durch Aufmahlung von Grobböden (Kies, Grus) zu einem Verdünnungseffekt der Schwermetallgehalte kommt, weil im Skelettanteil gesteinsbildende Minerale (Quarz, Feldspat, Glimmer) dominieren, die relativ niedrige Schwermetallgehalte besitzen.

Die Bestimmung der mobilen Elementanteile (NH_4NO_3 -Extraktion) erfolgte ausschließlich am Feinboden nach DIN 19730.

Die Analyse im wässrigen Auszug für den Wirkungspfad Boden \Rightarrow Grundwasser wurde an der Gesamtprobe (Unterboden) entsprechend dem Deutschen Einheitsverfahren (DEV S4) durchgeführt.

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 Untersuchungen im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme u. a. Projekten basieren auf einem 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 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.

Bei einigen Großprojekten wurde zum Probenaufschluss 1,5 N-siedende Salpetersäure (HNO₃) benutzt. Methodische Untersuchungen von GRÜN et al. (1990) ergaben, dass für Pb und Cd ca. 90 bis 100 % der KW-extrahierbaren Gehalte erreicht wurden (As nicht untersucht). Damit können die mit dem HNO₃-Aufschluss und dem KW-Aufschluss ermittelten Analyseergebnisse (mit einer gewissen Vereinfachung) gleichgestellt werden.

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, die alle nach DIN 19730 durchgeführt wurden und den gestellten Anforderungen entsprechen.

Der Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser (Schwermetalle) ist nach BBodSchV nach Gehalten im Bodensättigungsextrakt zu bewerten. Liegen solche Untersuchungen nicht vor, ist eine Ableitung von Konzentrationen im Bodenwasser aus ammoniumnitratextrahierbaren Gehalten oder Eluatgehalten nach DIN V 19735 möglich. Da im Rahmen der Sondermessnetze des LfUG Eluatanalysen nach DIN 38414-4 (Deutsches Einheitsverfahren S4) für Unterbodenproben erhoben wurden, ist eine Bewertung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser grundsätzlich möglich. Dabei ist zu beachten, dass die Prüfwerte der BBodSchV für den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung) gelten. Der Ort der Probenahme stimmt nicht notwendigerweise mit dem Ort der Beurteilung für das Grundwasser überein.

Analysenmethoden

Aufgrund der Entwicklung der Analysetechnik nach 1990 ist zu konstatieren, dass die in der BBodSchV vorgeschriebenen Verfahren AAS, ICP-AES und ICP-MS in den Einzelprojekten angewendet wurden. Als kritisch zu betrachten sind die älteren Analysen, welche mittels Atomemissions-spektralanalyse (AES) ermittelt wurden. Dies betrifft vor allem die Datenbestände der geochemischen Prospektion und die Pb-Gehalte von VOLAND et al., 1999. Letztere wurden von KLUGE et al. (1992) sehr kritisch bewertet. Da die Probenahmepunkte von 124 Proben mit denen von AUERMANN et al. (1990) von den Koordinaten her identisch sind, konnten statistische Untersuchungen zur Vergleichbarkeit dieser beiden Großprojekte durchgeführt werden. Die für diese Proben berechneten Korrelationskoeffizienten liegen sowohl für Pb als auch für Cd < 0,7, was darauf hindeutet, dass die unterschiedlichen Messverfahren (und Korngrößen) doch unterschiedliche Einflüsse dokumentieren. Für Pb wird dabei auf analysenbedingte Zufallsfehler der AES hingewiesen, die u. a. durch die organische Substanz verursacht werden und sich in „zu niedrigen“ Pb-Gehalten widerspiegeln. Dies veranlasste KLUGE et al. (1992) dazu, die Daten der TU Bergakademie Freiberg teilweise bei der Betrachtung der

Schwermetallbelastungen auszuschließen und an den gemeinsamen Probenahmepunkten mit AUERMANN et al. (1990) deren Ergebnisse zu bevorzugen.

Die Daten der TU Bergakademie Freiberg blieben aufgrund der untersuchten Kornfraktion (<63 µm) und der analysenverfahrensbedingten Fehlerquellen bei Pb unberücksichtigt.

Aus analogen Gründen trifft dies auch für die Prospektionsdaten zu (Gesamtprobe, AES).

2.3 Validierter Datenbestand zur Beurteilung der Böden nach BBodSchV

Von den recherchierten Datenbeständen, zuzüglich zahlreicher Einzelproben, mussten aufgrund der beschriebenen Abweichungen von den Anforderungen der BBodSchV fünf für die weiteren Bewertungen zur Schwermetallbelastung der Böden im Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden (vgl. Sachstandsbericht RANK et al., 1999). Damit liegen z. Z. für das gesamte Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 4) auf ca. 520 km² parameterbezogen folgende Stichprobenzahlen vor:

| Sachstandsbericht 2001 | Probenzahl Oberboden | Probenzahl Unterboden |
|--|----------------------|-----------------------|
| Untersuchter Parameter | | |
| Arsen | 1659 | 1238 |
| Cadmium | 1874 | 1199 |
| Blei | 1919 | 1239 |
| Kupfer | 1536 | 1124 |
| Zink | 1812 | 1135 |
| Thallium | 1162 | 1152 |
| NH ₄ O ₃ -Extraktionen | 1082 | |
| Eluate DEV S4 | | 1015 |

Der so validierte Datenbestand bildete die Grundlage für sämtliche Kartendarstellungen und die Bewertung der Gefährdungspfade nach BBodSchV.

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 250 x 250 m. Der Interpolationsradius beträgt 1 600 m, wobei max. 9 Nachbarpunkte, die am nächsten gelegen sind, in die Berechnung eingingen. Die Klasseneinteilung erfolgte anhand der Berechnungen der Percentile 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 ausgewählten Datenbestand ergeben sich für das Untersuchungsgebiet die in nachfolgenden Tabellen für organische Auflagen, Ober- und Unterböden aufgeführten Percentile (unabhängig von Substrat und Nutzung):

| Element 1) | Oberboden *) s. u. | | | | | | | |
|---------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | P15 | P25 | P50 | P75 | P90 | P95 | P97 | P99 |
| | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|
| | | | | | | | | |
| As | 24 | 32 | 55 | 122 | 277 | 560 | 931 | 2296 |
| Cd | 0,41 | 0,54 | 0,95 | 1,9 | 4,1 | 6,6 | 8,8 | 15 |
| Pb | 66 | 88 | 169 | 347 | 765 | 1233 | 1785 | 3764 |
| Cu | 12 | 15 | 21 | 32 | 56 | 88 | 126 | 280 |
| Zn | 76 | 94 | 145 | 229 | 428 | 668 | 1032 | 1785 |
| Tl | 0,26 | 0,35 | 0,50 | 0,69 | 0,95 | 1,2 | 1,4 | 2,2 |
| As_{mob} | | <5 | 16 | 42 | 194 | 455 | 849 | 2646 |
| Cd_{mob} | 11 | 18 | 48 | 137 | 280 | 487 | 844 | 2205 |
| Pb_{mob} | 17 | 32 | 122 | 851 | 20950 | 52720 | 101530 | 332500 |
| Tl_{mob} | <5 | 5 | 10 | 18 | 31 | 48 | 66 | 157 |

| Element 1) | Unterboden | | | | | | | |
|-------------------------|------------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| | P15 | P25 | P50 | P75 | P90 | P95 | P97 | P99 |
| As | 11 | 15 | 24 | 48 | 129 | 240 | 492 | 1111 |
| Cd | 0,10 | 0,15 | 0,30 | 0,60 | 1,4 | 2,5 | 3,3 | 7,7 |
| Pb | 22 | 29 | 55 | 122 | 338 | 622 | 918 | 2419 |
| Cu | 8,3 | 11 | 15 | 24 | 42 | 64 | 89 | 200 |
| Zn | 51 | 63 | 97 | 156 | 264 | 381 | 469 | 813 |
| Tl | 0,22 | 0,25 | 0,42 | 0,62 | 0,87 | 1,1 | 1,3 | 1,8 |
| As_{elu} | 0,50 | 0,90 | 2,3 | 5,7 | 16 | 37 | 69 | 248 |
| Cd_{elu} | <0,1 | 0,17 | 0,25 | 0,53 | 1,4 | 2,3 | 3,6 | 10 |
| Pb_{elu} | 3 | 6,4 | 14 | 33 | 69 | 158 | 258 | 594 |

1) Gesamtgehalte mg/kg; mobile Gehalte (mob) µg/kg; Eluat-Gehalte (elu) µg/l

Zur besseren Konturierung von Flächen mit vermuteten Bodenbelastungen wurde für den Gefährdungspfad Boden⇒Mensch eine Isoliniendarstellung gewählt (ArcView, Zellgröße 500 x 500 m), deren Isokonzentrationenabstände 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 des kleinräumigen Wechsels der Nutzungsart erschien eine Isoliniendarstellung nicht sinnvoll, da sonst über Nutzungsänderungen hätte hinweg interpoliert werden müssen, was letztendlich zu einer stark geglätteten Isolinie und relativ ungenauen Abgrenzungen geführt hätte.

Zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser (Unterbodenhorizonte) kam ebenfalls eine Einzelpunktdarstellung zur Anwendung. Eine Differenzierung der Gehalte erfolgte über den Bezug zu den Z-Werten in den LAGA-Technische Regeln (TR). Auf die Unterschiede zwischen Geltungsbereich der Prüfwerte und dem Ort der Beurteilung sei nochmals hingewiesen.

Sämtliche Kartendarstellungen erfolgen im Maßstab 1:50 000, was aus fachlicher Sicht der Datendichte, 4 Proben/km², entspricht. Es handelt sich dabei um eine Darstellung **der regionalen Verteilung** von Schadstoffen in Böden. Eine Darstellung in größeren Maßstäben (1: 25 000 und größer), ohne eine entsprechende Erhöhung der Informationsdichte, ist aus unserer Sicht nicht zulässig. Die Datendichte reicht nicht aus, um Flurstücken einen Elementgehalt zuweisen zu können.

*) Gegenüber dem Sachstandsbericht von 1999 ergeben sich generell niedrigere Prozentgehalte. Die Ursache liegt i. W. in der Erweiterung des Untersuchungsgebietes in den Randbereichen, die deutlich niedrigere Elementgehalte aufweisen. Die Auenböden der Freiburger Mulde, des Münzbaches, der Bobritzsch und der Striegis wurden aufgrund der eigenen Spurenelementdynamik der Auen getrennt betrachtet. Rechentechisch wurde der Auenbereich als Barriere behandelt und bei den Rasterkarten nicht in die Interpolation der „Nichtauenböden“ einbezogen. Da die Probenahmedichte in den Auen nicht ausreicht um die Gehalte flächen-

haft darstellen zu können, wurden die Auenabschnitte anhand der ermittelten Mediangehalte der Auenproben (P50) entsprechend der Gehaltsskala eingefärbt. Aufgrund der extrem starken Gehaltsschwankungen dieser Böden sind diese Werte als „Richtwerte“ für ein anzutreffendes Gehaltsniveau zu betrachten:

Mittlere Elementgehalte in den Auenböden (Mediangehalte, P50)

Oberböden

| Aue | As | As _{mob} | Cd | Cd _{mob} | Pb | Pb _{mob} | Tl | Tl _{mob} | Cu | Zn |
|------------------------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-----|------|
| Freib. Mulde bis Weißenborn | 60 | 24 | 1,9 | 300 | 170 | 800 | 1,0 | 24 | 35 | 220 |
| Freib. Mulde ab Weißenborn | 800 | 30 | 5,5 | 400 | 2700 | 11000 | 1,7 | 22 | 200 | 1000 |
| Striegis ab Langenau | 230 | 18 | 2,8 | 90 | 550 | 180 | 0,7 | 30 | 50 | 430 |
| Münzbach | 800 | 40 | 10 | 30 | 2000 | 250 | 0,9 | 13 | 300 | 1600 |
| Bobritzsch | 80 | 20 | 1,3 | 300 | 220 | 4000 | 0,5 | 12 | 24 | 210 |

Unterböden

| Aue | As | As _{elu} | Cd | Cd _{elu} | Pb | Pb _{elu} | Tl | Cu | Zn |
|------------------------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|------|-------------------|-----|-----|-----|
| Freib. Mulde bis Weißenborn | 60 | n.b | 1,0 | n.b | 140 | n.b | 1,0 | 20 | 150 |
| Freib. Mulde ab Weißenborn | 220 | n.b | 2,5 | n.b | 1500 | n.b | 1,2 | 120 | 500 |
| Striegis ab Langenau | 320 | 24 | 2,0 | 0,5 | 470 | 40 | 0,7 | 40 | 380 |
| Münzbach | 900 | 25 | 7 | 0,6 | 850 | 60 | 0,5 | 400 | 800 |
| Bobritzsch | 40 | 5 | 0,8 | 1,0 | 120 | 35 | 0,3 | 15 | 140 |

Elemente als Gesamtgehalte in mg/kg

mobile Anteile (mob) in µg/kg

Eluate (elu) in µg/l

n. b. – nicht bestimmt

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 nutzungsbezogene Prüfwerte auf der Grundlage der KW-Gehalte der Feinbodenfraktion festgelegt (Tab. 1). Mit dem vorliegenden Datensatz zu den Oberböden kann dieser Wirkungspfad für eine Beurteilung nur bedingt abgedeckt werden, da die Untersuchungsstrategie der meisten Projekte i. W. auf die Ermittlung der regionalen Elementverteilung ausgerichtet waren und Siedlungsflächen nur in untergeordnetem Maße erfassten. Anhand der Isolinienkarten lassen sich für die Leitparameter As, Cd, und Pb jedoch Flächen konturieren, wo die Prüfwerte für den Pfad Boden⇒Mensch überschritten werden (Abb. 10, 20, 29).

Kinderspielflächen

Die Prüfwerte für Pb (200 mg/kg) und vor allem für As (25 mg/kg) werden in großen Teilen des Untersuchungsgebietes überschritten (Brand-Erbisdorf - Freiberg - Halsbrücke, Hilbersdorf, Weißenborn, Niederbobritzsch u. a.). Spezialuntersuchungen durch KRETSCHMER (1993) auf 25 Kinderspielflächen ergaben bei As 21, Cd 2 und bei Pb 18 Überschreitungen. Weitere Prüfwertüberschreitungen kommen bei Cd hinzu, wenn die Haus- und Kleingärten in die Betrachtung einbezogen werden, die auch als Aufenthaltsbereiche für Kinder genutzt werden (Prüfwert 2 mg/kg Cd). Dabei ist zu beachten, dass die Kleingartenuntersuchungen nur im ehemaligen Landkreis Freiberg durchgeführt wurden (KRONE-MANN et al., 1993). Aus Analogieschlüssen ist auch mit Prüfwertüberschreitungen in Kleingärten von Brand-Erbisdorf zu rechnen, insbesondere in Bereichen mit intensivem Altbergbau.

Wohngebiete

Die flächenhaft größten Prüfwertüberschreitungen treten bei As (>50 mg/kg) auf und umfassen nahezu das gesamte Altbergbaugebiet von Brand-Erbisdorf – Freiberg – Halsbrücke einschließlich der Gebiete mit erhöhten Hüttenimmissionen (z. B. Bobritzsch). Bei Überschreitungen von Blei (>400 mg/kg) betrifft es vor allem die Ortslagen Brand-Erbisdorf - Freiberg (Mitte, Ost) - Hilbersdorf - Conradsdorf - Halsbrücke. Prüfwertüberschreitungen bei Cd (>20 mg/kg) wurden nicht angetroffen.

Park- und Freizeitanlagen

Prüfwertüberschreitungen bei As (>125 mg/kg) sind vor allem in den Ortslagen Brand-Erbisdorf - Freiberg (Mitte, Ost) - Hilbersdorf - Conradsdorf - Halsbrücke festzustellen, welche die Zentren der Buntmetallvererzungen sowie die Immissionszentren der Schwermetalleinträge über den Luftpfad widerspiegeln. Bei Blei werden die Prüfwerte (>1000 mg/kg) im Auenbereich des Münzbaches, der Freiburger Mulde ab Weißenborn und lokal in den Bergbauzentren überschritten.

Industrie/Gewerbe

Der Prüfwert für Industrie und Gewerbe beträgt für As 140 mg/kg und wird in den Ortslagen Brand-Erbisdorf - Freiberg (Mitte, Ost) - Hilbersdorf - Conradsdorf - Halsbrücke großflächig überschritten. Prüfwertüberschreitungen bei Blei (>2000 mg/kg) können vor allem in den Auenböden der Freiburger Mulde (ab Weißenborn), in der Münzbachau sowie an Altlaststandorten (Halden, Hütten, Erzwärschen) auftreten.

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 für As die Gesamtgehalte des Königswasserauszugs am geeignetsten erscheinen, sind nach BBodSchV (§ 4, Anhang 1,2) für Cd und Pb die mobilen Gehalte nach NH_4NO_3 -Extraktion anzuwenden.

Bei den As-Gesamtgehalten wird der Prüfwert von 200 mg/kg vor allem auf den Acker- und Nutzgartenstandorten in Freiberg (Mitte, Osten), Conradsdorf und Hilbersdorf, selten in größerer (Nordost-) Entfernung der zentralen Bergbaustandorte und Hüttenanlagen angetroffen (z. B. Naundorf; vgl. Abb. 13).

Da der Gesetzgeber einen zweiten As-Prüfwert für Böden mit zeitweise reduzierenden Bedingungen vorschreibt (50 mg/kg), wurden in Abb. 8 auch jene Standorte vermerkt, wo dieser Prüfwert überschritten wird, ohne konkret feststellen zu können, ob am jeweiligen Standort tatsächlich teilweise reduzierende Verhältnisse vorliegen. Danach können Prüfwertüberschreitungen im gesamten Raum Brand-Erbisdorf - Freiberg - Halsbrücke und in den Auenböden auftreten. In hohem Maße sind auch die Flächen zwischen der Freiburger Mulde und der Bobritzsch sowie Ackerstandorte bis unmittelbar am Westrand des Tharandter Waldes betroffen.

Im Hinblick auf Wachstumsstörungen wird nach BBodSchV ein mobiler As-Gehalt (Prüfwert) von 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ festgelegt. Ein derartiges Gehaltsniveau wird nur östlich von Muldenhütten, auf Ackerstandorten südlich von Hilbersdorf, erreicht (Abb. 15).

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 (BBodSchV, § 4, Anhang 2). Da diese Untersuchungsverfahren flächenhaft erst in jüngster Zeit durch das LfUG durchgeführt wurden, beträgt die Datendichte etwa 50 % der Untersuchungsichte für die Bestimmung der Gesamtgehalte (ca. 2 Proben/ km^2 ; vgl. Abb. 23).

Der Cd-Maßnahmenwert für Brotweizenanbau und hochanreichernde Gemüsearten (40 $\mu\text{g}/\text{kg}$) wird in zahlreichen Einzelpunkten im gesamten Bergbaugesbiet Brand-Erbisdorf - Freiberg - Halsbrücke und darüber hinaus, infolge der Hüttenemissionen in östliche bis südöstliche Richtung, überschritten (Bobritzsch, Lichtenberg).

Der generell gültige Cd-Maßnahmenwert für alle Nutzpflanzen beträgt 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Überschreitungen konzentrieren sich vor allem auf die Zentralbereiche der polymetallischen Gangvererzungen zwischen Brand-Erbisdorf und Freiberg und auf den Immissionsbereich der Hüttenstäube von Halsbrücke und Muldenhütten (Abb. 24). Infolge vorherrschender westlicher Luftströmungen sind Überschreitungen der Maßnahmenwerte bis in den Raum Nieder- und Oberbobritzsch festzustellen. Durch die hohe Löslichkeit der emittierten Staubpartikel treten Überschreitungen der Cd-Maßnahmenwerte auch dort noch auf, wo die Cd-Gesamtgehalte relativ niedrig sind und unter 2 mg/kg liegen.

Unter Berücksichtigung des Cd-Prüfwertes von 2 mg/kg (Gesamtgehalt) für Haus- und Nutzgärten (Tab. 2) sind flächenhafte Überschreitungen im gesamten Freiburger - Halsbrücker Raum und in östlicher Richtung bis an die Bobritzsch festzustellen. Aufgrund der Cd-ärmeren Erzparagenesen im Brand-er Raum (vgl. Abb. 2) und einer schwächeren Beeinflussung durch Hüttenemissionen treten Cd-Gehalte >2 mg/kg in diesem Gebiet nur im Zentralteil der Vererzungen auf (Abb. 20).

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 (Tab. 2).

Die Ackerstandorte mit Pb_{mob} -Prüfwertüberschreitungen sind mit den Standorten der Cd_{mob} -Maßnahmenwertüberschreitung nahezu identisch. Infolge der enormen Emissionen der Muldenhütten konnten hohe mobile Pb-Gehalte bis an den Tharandter Wald (vgl. Abb. 32) bzw. bis an die Ostgrenze des Untersuchungsgebietes auf den Ackerstandorten festgestellt werden (Abb. 33).

Mobile Tl-Gehalte oberhalb des Prüfwertes von 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ wurden nur auf drei Ackerstandorten festgestellt, die sich alle in nordöstlicher Richtung der Muldenhütten in Hauptwindrichtung befinden (Abb. 39).

Grünland

Für die Nutzungsart Grünland wurden für den Schadstoffübergang Boden⇒Nutzpflanze in der BBodSchV ausschließlich Maßnahmenwerte festgeschrieben (Tab. 2).

Überschreitungen des As-Maßnahmenwertes von 50 mg/kg sind in großen Teilen des Untersuchungsgebietes festzustellen (vgl. Abb. 13), insbesondere ist der Zentralteil des Brand-Erbisdorfer - Freiberg - Halsbrücker-Bergbaureviere und darüber hinaus bis Großschirma - Großvoigtsberg betroffen. Infolge der Hüttenemissionen ist dieses Gehaltsniveau auch auf Grünlandflächen von Bobritzsch und Naundorf bis an den Ostrand des Tharandter Waldes festzustellen.

Westlich des Freiburger Bergbaureviere sind nur wenige Standorte mit Überschreitungen des As-Maßnahmenwertes anzutreffen, wie z. B. in der Striegisaue.

Der Cd-Maßnahmenwert für Grünlandflächen (20 mg/kg) dürfte wohl relativ selten übertroffen werden. Nach den hier validierten Analysendaten ist nur ein Auenstandort des Münzbaches betroffen.

Überschreitungen des Pb-Maßnahmenwertes für Grünlandstandorte (1 200 mg/kg) sowie Cu (200 mg/kg, Nutzung durch Schafe) sind im Wesentlichen auf die Auenböden des Münzbaches und der Freiburger Mulde (ab Weißenborn) sowie auf die unmittelbare Nachbarschaft der Hüttenanlagen von Freiberg und Muldenhütten beschränkt.

Der Tl-Maßnahmenwert von 15 mg/kg wurde nur auf einem Grünlandstandort überschritten.

4.3 Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser

Der Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser (Schwermetalle) ist nach BBodSchV nach Gehalten im Bodensättigungsextrakt zu bewerten. Liegen solche Untersuchungen nicht vor, ist eine Ableitung von Konzentrationen im Bodenwasser aus ammoniumnitratextrahierbaren Gehalten oder Eluatgehalten nach DIN V 19735 möglich. Da im Rahmen der Sondermessnetze des LfUG Eluatanalysen nach DIN 38414-4 (Deutsches Einheitsverfahren S4) für Unterbodenproben erhoben wurden, ist eine Bewertung des Wirkungspfades Boden⇒Grundwasser grundsätzlich möglich.

Bei der Bewertung dieser Eluatanalysen nach BBodSchV kommt es zu häufigen Prüfwertüberschreitungen bei As, Cd und Pb vor allem im Bereich der Gangvererzungen in Brand-Erbisdorf – Freiberg - Halsbrücke und östlich der Muldenhütten und Halsbrücker Essen (Abb. 17, 26, 35). Dabei ist erneut darauf hinzuweisen, dass die Prüfwerte der BBodSchV für den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung) gelten. Der Ort der Probenahme (hier: Unterböden) stimmt nicht notwendigerweise mit dem Ort der Beurteilung für das Grundwasser überein.

5 Zur Spurenelementverteilung auf Forststandorten

Im Rahmen der Sondermessnetze des LfUG wurden neben den o. g. Nutzungsarten auch die Waldböden (Oh-Horizonte, Ober- und Unterböden) in die Untersuchung der As- und Schwermetallgehalte einbezogen, auch wenn die BBodSchV auf diese Bodennutzungsart nicht abzielt.

Parameterbezogene Probenzahlen:

| | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Sachstandsbericht 2001 | Probenzahl Org. Auflage, |
|-------------------------------|-------------------------------------|

| Untersuchter Parameter | Oh-Horizont |
|------------------------|-------------|
| Arsen | 129 |
| Cadmium | 128 |
| Blei | 129 |
| Kupfer | 129 |
| Zink | 129 |
| Thallium | 118 |

Statistische Maßzahlen Oh-Horizonte:

| Elemente in mg/kg | Organische Auflage, Oh-Horizont | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P15 | P25 | P50 | P75 | P90 | P95 | P97 | P99 |
| As | 27 | 45 | 90 | 170 | 340 | 1155 | 1948 | 5896 |
| Cd | 0,37 | 0,48 | 0,80 | 1,3 | 2,5 | 5,1 | 8,7 | 11 |
| Pb | 192 | 264 | 428 | 796 | 1660 | 3365 | 6100 | 9416 |
| Cu | 26 | 31 | 42 | 58 | 91 | 178 | 212 | 464 |
| Zn | 63 | 80 | 114 | 160 | 307 | 476 | 633 | 1408 |
| Tl | 0,23 | 0,30 | 0,44 | 0,62 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 3,0 |

Generell ist festzustellen, dass die Oh-Horizonte unter Forst gegenüber den Oberböden anderer Nutzungsarten z. T. deutliche höhere (massebezogene) Schwermetallanreicherungen aufweisen (As, Cu, Pb). Die Ursachen der besonders hohen Belastung der Waldböden liegen einerseits im sog. Auskämmeffekt der Wälder (Interzeptionsdeposition), zum Anderen an den lokal hohen Schwermetallemissionen der Hütten im Freiburger Raum und die verstärkte Bindung von As und Pb an die organische Substanz.

Relativ niedrige Cd- und Zn-Gehalte in den organischen Auflagen (und auch im Oberboden, Unterboden) deuten darauf hin, dass infolge der fortschreitenden Versauerung (Abb. 5 bis 7) diese Elemente gelöst und in tiefere Bodenschichten, evtl. bis ins Grundwasser, transportiert und weggeführt wurden. Hohe mobile As- und Pb-Gehalte im Oberboden sowie relativ hohe Pb-Eluatgehalte im Unterboden der Forststandorte indizieren für das Schutzgut Grundwasser eine verstärkte Gefährdung.

Im Hinblick auf schädigende Wirkung der Ökosystemkomponenten nach TAYLOR (1992) verdienen die hohen Pb- und Cu-Gehalte in den Oh-Horizonten besondere Beachtung.

Vorsorgewerte für Humusaufgaben nach PRÜEB (1994) und Schwermetallkonzentrationen im Humus mit schädigenden Wirkungen auf Ökosystemkomponenten (TAYLOR, 1992)

| | As | Cd | Cu | Pb | Tl | Zn |
|--|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | mg/kg | | | | | |
| Vorsorgewert org. Auflage (PRÜEB) | 10 | 0,7 | 20 | 130 | 0,4 | 85 |
| Orientierungswerte (TAYLOR) | | | | | | |
| Biochemische Aktivität | | 3,5-7,0 | 20 | >500 | | 600 |
| Bodenatmung | | 3,5-7,0 | 20 | >500 | | 600 |
| Stickstoffumsetzung | | - | 20 | - | | - |
| Mikroflora | | 7 | 20-35 | >500 | | 300 ? |
| Bodentiere, Invertebraten | | >10 | <100 | 150 | | <500 |
| kritische Schwermetallbelastung | | 3,5 | 20 | 150 | | 300 |

6 Spurenelementgehalte auf Halden

Im Rahmen von Wismut-Altlastenuntersuchungen wurden durch die Firmen G.E.O.S. Freiberg und beak consultants GmbH Haldenproben entnommen (0 bis 20 cm), die nachträglich auf As, Cd, Pb und Zink analysiert wurden. Am Gesamtdatenbestand von 119 Proben wurden analog zu den Bodenproben die Percentilwerte der Elementgehalte berechnet und die Analysenwerte als Punktkarten dargestellt (Abb. 46 bis 49). Da die Elementgehalte auf den Halden extrem stark schwanken können (analog den Auenböden), sind diese Daten nur eingeschränkt belastbar und sollten lediglich exemplarisch als lokal mögliche Gehaltsniveaus betrachtet werden.

7 Zusammenfassung und weitere Vorgehensweise

Aufgrund der geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastung der Böden war im letzten Jahrzehnt der Freiburger Raum wiederholt Objekt umweltgeochemischer Untersuchungen. Im Rahmen des vorliegenden Sachstandsberichtes wurden die vorliegenden Altdaten hinsichtlich ihrer Qualität für eine Verwendung im Rahmen der BBodSchV geprüft und zusammen mit den Datenerhebungen des LfUG für die Erstellung eines Kartenwerks (Maßstab 1:50 000) zur Beurteilung der Wirkungspfade Boden⇒Mensch, Boden⇒Nutzpflanze und Boden⇒Grundwasser nach BBodSchV zusammengeführt. Für das Untersuchungsgebiet von ca. 520 km² liegt somit eine parameterbezogene Untersuchungsdichte von 2 bis 4 Proben/km² für Oberbodenhorizonte vor.

Die Böden des Freiburger Raumes weisen die höchsten Pb und Cd-Gehalte im Freistaat Sachsen auf. Die Intensität der As-Belastung wird nur im Raum Ehrenfriedersdorf übertroffen.

- Wirkungspfad Boden⇒Mensch, Überschreitungen Prüfwerte Gesamtgehalte
 - As, (Cd), Pb Kinderspielflächen
 - As, Pb Wohngebiete
 - As (Pb) Park- und Freizeitanlagen, Industriegebiete
- Wirkungspfad Boden⇒Nutzpflanze, Überschreitungen Prüfwerte/Maßnahmenwerte
 - As, Gesamtgehalte, insbesondere Grünlandflächen
 - Cd, Gesamtgehalte Hausgärten/Kleingärten; mob-Gehalte Hausgärten/Acker
 - Pb, mob-Gehalte Hausgärten/Kleingärten und Acker
- Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser, Überschreitungen Prüfwerte Bodensättigungsextrakt (abgeleitet aus Eluatn der Unterbodenhorizonte)
 - As, (Cd), Pb

Bezüglich der Datendichte wird seitens des LfUG eingeschätzt, dass der vorliegende Datenpool für eine Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten und für eine Ausweisung von Boden-

planungsgebieten ausreicht. Dies betrifft sowohl die Abgrenzung eines „Belastungsgebietes“ nach außen (zum „unbelasteten“ Bereich) als auch eine evtl. notwendige innere Gliederung des „belasteten“ Bereichs. Die vorliegende Datendichte entspricht etwa der Datendichte im Raum Goslar/Harz (SCHMOTZ, 2001), wo durch den Landkreis, als zuständige Bodenschutzbehörde, die Ausweisung eines Bodenplanungsgebietes erfolgt ist. Bei Spezialuntersuchungen (z. B. mobile Elementanteile) ist der in Freiberg vorliegende Kenntnisstand deutlich höher.

Eine Darstellung bzw. Interpretation der Ergebnisse im Maßstab 1:25 000 oder gar 1:5 000, bzw. die Zuweisung von Elementgehalten zu definierten Flurstücksgrenzen, ist mit dem vorliegenden Datenbestand nicht zulässig. Eine flächendeckende Bewertung der Schwermetallbelastung der Böden im Maßstab 1:5 000 würde eine Datendichte von ca. 400 Proben/km² erfordern, was einem Raster von 50 x 50 m entspräche. Eine derartige Verdichtung ist finanziell nicht vertretbar und auch nicht erforderlich.

Seitens des LfUG sind daher keine weiteren Erhebungen geplant. Ein Bedarf zur Fortführung der Untersuchungen besteht aus unserer Sicht nur im lokalen Rahmen, wo durch die regionalen Arbeiten Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte angezeigt wurden. Hier sollte durch spezielle nutzungs- und schutzgutbezogene Untersuchungen (u. a. Kinderspielflächen, Wohngebiete, Flächen zur Erzeugung von Nahrungsmitteln) sukzessiv im Einzelfall der Datenbestand für das Verwaltungshandeln erweitert werden.

8 Literatur:

- AUERMANN, E.; JAKOBI, J. & KÜRTH, L. (1990): Schwermetalluntersuchungen des Bodens im Raum Freiberg. - unveröff. Ber., Bezirkshygieneinstitut Chemnitz.
- BEUGE, P. & ULIQUE, A. (1997): Stoffliche Belastung von Auenböden. - Abschlußber. FuE-Vorhaben LfUG, TU Bergakademie Freiberg.
- BROSIG, A. (1987): Geochemische Kartierung Blatt Tanneberg. – unveröff. Dipl.-Arb., Bergakademie Freiberg.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).
- FISCHER, J. (1991): Gutachten zur Bodenkontamination Gewerbegebiet Zug-Frauensteiner Straße. – unveröff. Ber., GLU GmbH Freiberg.
- GRÜN, M.; MACHELETT, B. & PODLESÁK, W. (1990): Kontrolle der Schwermetallbelastung landwirtschaftlich genutzter Böden in der DDR. – VDI-Berichte, 837.
- GRÜN, M.; JAKOB, F.; KRONEMANN, H.; SCHNEIDER, J. & NOACK, M. (1991): Untersuchungen zum Schwermetalleintrag in die Nahrungskette im Landkreis Freiberg. – unveröff. Ber.; Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie, Jena.
- HERTWIG, T. (1999): Differenzierung geogener und anthropogener Stoffanteile in Bodenbelastungsgebieten. – unveröff. Ergebnisbericht, FuE-Vorhaben LfUG, beak consultants GmbH Freiberg.
- KLINGER, T. (1994): Mengen- und Spurenelemente in Waldböden über unterschiedlichen Grundgesteinen des Osterzgebirges. – unveröff. Diss., TU Dresden, Fak. f. Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Tharandt.
- KLUGE, A.; HAUBRICH, F. & HUTTE, E. (1992): Schwermetallbelastungskarten des Kreises Freiberg. – unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg.
- KRETSCHMER, E. (1993): Toxikologisch-umweltmedizinische Bewertung von Bodenproben aus Kinderspielflächen in Kindertagesstätten. - unveröff. Ber., Gesundheitsamt Freiberg-Brand-Erbisdorf.
- KRONEMANN, H.; POHL, A. & WENDLER, F. (1993): Analyse der Schwermetallbelastung ausgewählter Kleingartenanlagen im Landkreis Freiberg. - Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (1994): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen - Technische Regeln. - Handbuch Bodenschutz 17. Lfg. XI/94, Nr. 9250, Berlin: E. Schmidt.
- METZNER, I. (1991): Zur Geochemie ausgewählter Bodenformen im Erzgebirge und Vogtland. – unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.
- PÄLCHEN, W. (1990): Zustandserhebung der Schwermetallbelastung von Böden im Raum Freiberg. – unveröff. Ber., GLU GmbH Freiberg.

- PRÜß, A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelementgehalte in Böden. – Handbuch Bodenschutz; 15. Lfg. II/94, Nr. 3600, Schmidt: Berlin.
- RANK, G. (1990): Orientierende Untersuchungen zur Anwendung der Phytoremediation. - unveröff. Ber. GLU GmbH Freiberg.
- 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.
- RANK, G.; KARDEL, K. & WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Sachstandsbericht: Die Schwermetallgehalte der Böden des Freiburger Raumes für die Bewertung der Gefährdungspfade Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. – unveröff. Ber., Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Dresden.
- RÖSLER, H. J.; BEUGE, P. & MÜLLER, E. (1964): Einfluss des Hüttenrauches von Freiberg und Halsbrücke auf die Spurenelementgehalte der Böden. - Bergakademie 21, H. 7, S. 386-397.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (1992): Untersuchung sächsischer Böden auf Belastungen mit Schwermetallen und organischen Rückständen. - unveröff. Bericht, LfL Leipzig.
- SCHERCHAN, O. (1980): Einfluß der Hüttenemission auf die Schwermetallbelastung der Böden. – unveröff. Diss. A., Bergakademie Freiberg.
- SCHMOTZ, W. (2001): Geplante Ausweisung eines Bodenbelastungsgebietes im Harz: - 2. Bodentage: Belastungen von Böden und Gewässer, Hannover 28./29.05.2001.
- TYLER, G. (1992): Critical Concentrations of Heavy Metals in the Mor Horizon of Swedish Forests. - SNV-Report 4078, Solna.
- 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), Bundesanstalt f. Geow. u. Rohstoffe, Hannover, 179 S.
- VOLAND, B.; SCHLENKER, U. & KLUGE, A. (1990): Geochemische Prospektion in anthropogen veränderten Landschaften. - Forsch.-Ber., TU Bergakademie Freiberg.

Tab. 1: Verwendete Datenbestände „Stoffliche Untersuchungen der Böden im Raum Freiberg“ (größere Projekte)

| Lfd.-Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|--|--|
| Datenbestand/Projekt | Sondermessnetz Freiberg 1 | Sondermessnetz Freiberg 2 | Bodenuntersuchungen Raum Freiberg | Untersuchungen zur Schwermetallbelastung im Raum Freiberg |
| Autor/Institution | RANK et al., 1999, LfUG FG unveröff. Daten | RANK et al., 2001, LfUG FG unveröff. Daten | AUERMANN et. al., 1990 Hygieneinstitut Chemnitz (HIC) | RANK, 1990, GLU GmbH Freiberg |
| Zeitraum Datenerhebung | 1998 | 2000 | 1990 | 1990 |
| Untersuchungszweck | Verdichtung der Untersuchungskampagne der Lfd.-Nr. 3 | Erweiterung des Untersuchungsgebietes in den Randbereichen der Belastungen, Verdichtungen im Zentrum | Umweltgeochemische Untersuchungen geogen und anthropogen beeinflusster Böden | Orientierende Untersuchungen zur Anwendung der Phytoremediation |
| Untersuchungsart | Raster 1 x 1 km, z. T. dichter | Randbereich Raster 1 x 1 km, 3 Teilgebiete 250 x 250m für methodische Untersuchungen | Raster 1 x 1 km (analog Lfd.-Nr 3 an 124 Standorten) | Punktproben |
| Probenahmepunkte Raum Freiberg | 439 | 600 | 194 | 13 |
| Probenzahl | 954 | 1256 | 194 | 13 |
| Art der Probenahme | horizontbezogen | horizontbezogen | nach Tiefenstufen, 0 bis 20 cm | nach Tiefenstufen 10 bis 30 cm |
| Beprobte Horizonte | Org. Auflage (Oh-Horiz.); mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“) | Org. Auflage (Oh-Horiz.); mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“) |
| Untersuchte Kornfraktion | <2 mm | <2 mm | Gesamtprobe zerkleinert, auf 2 mm abgeseibt | <2 mm |
| Elementspektrum | As, Cd, Cu, Pb, Sb, Tl, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , Tl _{mob} (Oberboden) As _{H2O} , Cd _{H2O} , Pb _{H2O} (Unterboden) | As, Cd, Cu, Pb, Sb, Tl, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , Tl _{mob} (Oberboden) As _{H2O} , Cd _{H2O} , Pb _{H2O} (Unterboden) | As, Cd, Pb, Zn | As, Cd, Cr, Cu, F, Ni, Pb, Sn, Zn As _{H2O} , Cd _{H2O} , Cr _{H2O} , Cu _{H2O} , Ni _{H2O} , Pb _{H2O} , Zn _{H2O} |
| Probenaufschluss, Analysenverfahren | Königswasser DIN 38414-S7, Tl HNO ₃ -Extr.; mob.-Gehalte: NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730; H ₂ O-Gehalte DIN 38414 Teil 4, DEV S4; AAS | Königswasser DIN 38414-S7, Tl HNO ₃ -Extr.; mob.-Gehalte: NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730; H ₂ O-Gehalte DIN 38414 Teil 4, DEV S4; AAS | HNO ₃ -Extraktion AAS | Totalgehalte, AAS, H ₂ O-Gehalte: Elution mit Wasser DIN 38414 Teil 4, DEV S4 AAS |
| Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV | Probenahme durch 20 Einstiche am Standort mit Bodenstecher, Sammelprobe, Analytik entspricht teilweise BBodSchV, Aufschluss gilt als „KW-äquivalent“ | Cd nicht verwendbar, Umrechnung Totalgehalte Pb in Gesamtgehalte |

| Lfd.-Nr. | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--|---|--|--|
| Datenbestand/Projekt | Mengen- u. Spurenelemente in Waldböden Osterzgebirge | Schwermetallbelastung ausgewählter Kleingartenanlagen Landkreis/Stadt Freiberg | Gutachten Gewerbegebiet Zug-Frauensteiner Straße | Geochemische Kartierung Blatt Tanneberg |
| Autor/Institution | KLINGER (Diss. Tharandt) | KRONEMANN et al., 1993, AUA GmbH Jena | FISCHER, 1991, GLU GmbH Freiberg | BROSIG 1987, Dipl.-Arb. BAF |
| Zeitraum Datenerhebung | 1994 | 1992 | 1991 | Pobehnahme 1986/Analytik 2001 |
| Untersuchungszweck | Laterale SM-Verteilung in Bodenprofilen unter Forst (Schürfe) | Untersuchung SM-Transfer Boden-Pflanze | Untersuchung auf potentielle Bodenkontaminationen | Geochemische Prospektion in anthropogen veränderten Landschaften |
| Untersuchungsart | Punktproben | Mischprobe aus 10 bis 15 Einstichen/Gartenanlage | Punktproben | Punktproben |
| Probenahmepunkte | 31 | 54 | 16 | 132 |
| Probenzahl | 177 | 54 | 21 | 264 |
| Art der Probenahme | nach Tiefenstufen | nach Tiefenstufen 0 bis 20 cm | horizontbezogen | horizontbezogen |
| Beprobte Horizonte | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“), C-Horizonte | „Kulturboden“ („A-Horiz.“) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“) |
| Untersuchte Kornfraktion | <2 mm | <2 mm | < 2 mm | <2 mm |
| Elementspektrum | As, Cd, Pb, Cu, Zn u. a. | As, Cd, Pb, Zn | As, Cd, Cu, Pb, Zn | As, Cd, Pb, TI |
| Probenaufschluss, Analysenverfahren | Totalgehalte | Königswasser DIN 38414-S7 | Totalgehalte AAS | Königswasser DIN 38414-S7 |
| Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV | Zuordnung der Proben zu Horizonten, Daten generell geeignet Umrechnung Pb-Totalgehalte in Gesamtgehalte | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV | Umrechnung Pb-Totalgehalte in Gesamtgehalte, Cd nicht verwendbar | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV |

| Lfd.-Nr. | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|--|--|---|
| Datenbestand/Projekt | FuE-Vorhaben Ref. 61 GC | FuE-Vorhaben Ref. 62 | Bodenmessnetz Freistaat Sachsen | Untersuchung Auenböden Raum Freiberg |
| Autor/Institution | Fa. beak Consultants Freiberg | TU Justus Liebig Gießen | RANK et al., 1998, LfUG FG | PÄLCHEN, 1990, GLU GmbH Freiberg |
| Zeitraum Datenerhebung | 1998 | 1997/1998 | 1993 bis 1997 | 1990 |
| Untersuchungszweck | Unterscheidung geogener und anthropogener Stoffeinträge in Böden | Verlagerung/Rückhaltevermögen von Schwermetallen | Flächendeckende stoffliche Untersuchung | Untersuchung SM-Belastung Auenböden |
| Untersuchungsart | Bodenprofile | Bodenprofile | Raster 4 x 4 km | Catenen |
| Probenahmepunkte Raum Freiberg | 7 | 40 | 39 | 43 |
| Probenzahl | 59 | 160 | 78 | 99 |
| Art der Probenahme | horizontbezogen und nach Tiefenstufen | horizontbezogen | horizontbezogen | horizontbezogen |
| Beprobte Horizonte | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“), „C-Horiz.“ | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“) | Org. Auflage (Oh-Horiz.); mineralischer Oberboden („A-Horiz.“) Unterboden („B-Horiz.“) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“), „C-Horiz.“ |
| Untersuchte Kornfraktion | <2 mm und z. T. weitere Fraktionen | <2 mm | <2 mm | <2 mm |
| Elementspektrum | As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , Tl _{mob} | As, Cd, Pb | As, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} (Oberboden) | As, Cd, Ni, Pb, Sb, Tl, Zn |
| Probenaufschluss, Analysenverfahren | Königswasser DIN 38414-S7, AAS mob-Gehalte: NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730 | Königswasser DIN 38414-S7 AAS | Totalgehalte; Hg Königswasser DIN 38414-S7 AAS mob-Gehalte: NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730 | Totalgehalte AAS |
| Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV | Probenahme und Analytik entsprechen Anforderungen der BBodSchV | Umrechnung Pb-Totalgehalte in Gesamtgehalte | Umrechnung Totalgehalte in Gesamtgehalte |

| Lfd.-Nr. | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|--|---|---|--|
| Datenbestand/Projekt | Untersuchungen zum Schwermetalleintrag in die Nahrungskette im Landkreis Freiberg | Untersuchung landwirtschaftlich genutzter Böden | Bodenkundliche Landesaufnahme | Untersuchungen Gewerbegebiete, Baugebiete |
| Autor/Institution | GRÜN et al., 1991 Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena | Sächs. Landesanst. f. Landwirtschaft, LUFA Leipzig | LfUG Freiberg, Ref. 61 BK unveröff. Daten | Verschiedene Ing.-büros unveröff. Daten |
| Zeitraum Datenerhebung | 1990-1991 | 1990-1992 | 1990 bis 1998 | 1990 bis 1998 |
| Untersuchungszweck | Untersuchung der Schwermetallbelastung landw. genutzter Böden und Agrarprodukte | Untersuchung der Schwermetallbelastung landw. genutzter Böden | Stoffliche Charakterisierung von Leitprofilen | Stoffliche Charakterisierung von Baugebieten |
| Untersuchungsart | schlagbezogen, Mischprobe von 20 bis 30 Einstichen/Schlag | schlagbezogen, Mischprobe von 20 bis 40 Einstichen/Schlag | Bodenprofil | Bodenprofil |
| Probenahmepunkte Raum Freiberg | 217 | 132 | 24 | 67 |
| Probenzahl | 619 | 132 | 146 | 134 |
| Art der Probenahme | nach Tiefenstufen 0-20 cm | nach Tiefenstufen 0 bis 20 cm | horizontbezogen | tiefenstufenbezogen |
| Beprobte Horizonte | „Kulturboden,, („A-Horiz.,,) | „Kulturboden,, („A-Horiz.,,) | mineralischer Oberboden („A-Horiz.,,), Unterboden („B-Horiz.,,), „C-Horiz.,, | mineralischer Oberboden („A-Horiz.,,), Unterboden („B-Horiz.,,), „C-Horiz.,, |
| Untersuchte Kornfraktion | <2 mm | Gesamtprobe, größere Steine ausgelesen, gemahlen, auf <0,5 mm abgeseibt | <2 mm | <2 mm |
| Elementspektrum | Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As z. T. | As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn | As, Ba, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn z. T. wechselnd | As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn z. T. wechselnd |
| Probenaufschluss, Analysenverfahren | 1,5 N HNO ₃ , ICP-AES, FAAS Hg-H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ , Kaltdampf AAS | Königswasser DIN 38414 AAS | Totalgehalte, Hg Königswasserextraktion AAS | Königswasser |
| Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV | Probenahme, Analytik entspricht i. wesentlichen Vorgaben der BBodSchV Aufschluss gilt als „KW-äquivalent“ | Bodenfraktion weicht von Anforderungen BBodSchV ab | außer Cd Daten generell geeignet, Umrechnung Pb-Totalgehalte in Gesamtgehalte | Daten generell geeignet, Zuordnung der Proben zu Horizonten |

| Lfd.-Nr. | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|
| Datenbestand/Projekt | Untersuchungen von Kinderspielplätze | Untersuchung Auenböden Sachsen | Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten, UG 20a Freiberg |
| Autor/Institution | KRETSCHMER, 1993 | BEUGE & ULIQUE, 1998 | Beak Freiberg, G.E.O.S. Freiberg (Probenahme) |
| Zeitraum Datenerhebung | 1993 | 1994-1998 | 1997/1999 |
| Untersuchungszweck | Gefährdungsabschätzung auf Kinderspielplätzen Raum Freiberg | Stoffliche Charakterisierung Auenböden | Ergänzende SM-Untersuchungen LfUG, G.E.O.S. |
| Untersuchungsart | Punktprobe | Catenen | Punktproben |
| Probenahmepunkte Raum Freiberg | 30 | 5 | 119 |
| Probenzahl | 30 | 21 | 119 |
| Art der Probenahme | tiefenstufenbezogen | horizontbezogen | tiefenstufenbezogen (0 bis 20 cm) |
| Beprobte Horizonte | mineralischer Oberboden | Mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), Unterboden („B-Horiz.“), „C-Horiz.“ | Mineralischer Oberboden („A-Horiz.“), |
| Untersuchte Kornfraktion | <2 mm | <2 mm | <2 mm |
| Elementspektrum | As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} | As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Tl, Zn As _{mob} , Cd _{mob} , Pb _{mob} , Tl _{mob} | As, Cd, Pb |
| Probenaufschluss, Analysenverfahren | Totalgehalte NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730 | Königswasser NH ₄ NO ₃ -Extr. DIN E 19730 | Totalgehalte, Königswasser |
| Bewertung der Probenahme- und Analysenverfahren nach BBodSchV | Daten generell geeignet Umrechnung Pb-Totalgehalte in Gesamtgehalte | Probenahme, Analytik entspricht Vorgaben der BBodSchV | Verwendung der Originaldaten |