

**Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen
Bodenmessnetz Borna
Raster 1 km x 1 km**

Bearbeiter:

K. Kardel, H. Weidensdörfer, G. Rank, H. Joisten

Dokumentations- und Kurzbericht, Sächsisches Landesamt für
Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie Freiberg,
Stand 31.09.2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Bodenmessprogramm des Freistaates Sachsen	3
2	Allgemeine Angaben zum Untersuchungsgebiet	3
2.1	Geographische Lage	3
2.2	Geologische Verhältnisse	4
2.3	Bodengesellschaften und Bodennutzung	5
2.4	Geogene und anthropogene Einflüsse auf die Elementverteilung in den Böden des Untersuchungsgebiets	6
3	Durchgeführte Untersuchungen	7
3.1	Feldarbeiten und Dokumentation	7
3.2	Laborarbeiten	7
3.3	Statistische Auswertungen und Kartendarstellungen	8
4	Ergebnisse und deren Bewertung aus umweltrelevanter Sicht	8
4.1	Bewertungsgrundlagen	8
4.2	pH- Wert und Spurenelemente	9
4.3	Hauptelemente	9
5	Schlussfolgerungen	10
6	Literatur	10
7	Tabellenverzeichnis	12
8	Abbildungsverzeichnis	12

1 Bodenmessprogramm des Freistaates Sachsen

Um die stofflichen Informationsgrundlagen über die Böden des Freistaates Sachsen zu verbessern, wurde durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) ein landesweites Bodenmessprogramm konzipiert (OSSENKOPF & PÄLCHEN, 1992). Ziel des Programms ist eine flächendeckende Beurteilung der Belastung der Böden mit anorganischen und organischen Stoffen und eine landesweite Bewertung der Schadstoffe nach einheitlichen Kriterien. Letzteres konnte durch das Vorhandensein vieler untereinander sehr verschiedener Untersuchungsmethoden (Probenahme, Korngrößen, Analytik) bis dahin nicht oder nur eingeschränkt durchgeführt werden.

Das Bodenmessprogramm beinhaltet neben der Recherche vorhandener stofflich relevanter Bodenanalysen vor allem die Erhebung von flächendeckenden Daten im Raster 4 km x 4 km durch das LfUG. Regionale Bodenmessnetze im Raster 1 km x 1 km (ca. 120 km²) wurden von den Staatlichen Umweltfachämtern (StUFÄ) ausgewählt und stellen zum Zeitpunkt ihrer Konzeption die vermutlichen Schwerpunkte der stofflichen Bodenbelastung in ihrem jeweiligen Zuständigkeitsgebiet dar (Radebeul, Ehrenfriedersdorf, Zwickau, Zittau, Borna). Zur Untersuchung langfristiger Veränderungen der Böden werden durch das LfUG ca. 50 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet (Abb. 1).

Im Ergebnis des Bodenmessnetzes Raster 4 km x 4 km und dem Bodenmessnetz Ehrenfriedersdorf Raster 1 km x 1 km erfolgte nachträglich die Konzipierung von Sondermessnetzen, die durch eine verdichtende Probenahme (bis zu 16 Proben/km²) die lokale Verteilung von Schadstoffen in den Böden klären soll (Freiberg, Ehrenfriedersdorf, Schneeberg – Schwarzenberg – Johanngeorgenstadt; Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe).

Derzeit ist die Bearbeitung und Auswertung des für Sachsen flächendeckenden Messnetzes 4 km x 4 km (RANK et al., 1999) und der Bodenmessnetze 1 km x 1 km Ehrenfriedersdorf (RANK et al., 1997), Radebeul (KARDEL et al., 1999), Zittau (KARDEL et al., 2000) und Zwickau (KARDEL et al., 2000) abgeschlossen. Für die Sondermessnetze Freiberg (RANK et al., 1999) und Ehrenfriedersdorf (RANK et al., 2000) liegen unveröffentlichte Sachstandsberichte vor.

2 Allgemeine Angaben zum Untersuchungsgebiet

2.1 Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet liegt südöstlich von Leipzig zwischen Borna und Bad Lausick und nimmt eine Fläche von ca. 113 km² ein. Nach der naturräumlichen Gliederung Sachsens gehört es zum Leipziger Land mit Übergängen zum Nordsächsischen Platten- und Hügelland im Osten und zum Altenburg - Zeitzer Lösshügelland im Süden. Das Leipziger Land bildet nach MANNSFELD & RICHTER (1995) den Südrand der Leipziger Tieflandsbucht. Die naturräumlich bestimmenden Merkmale großer Teile des Leipziger Landes sind das geringe Relief der von Nord nach Süd auf 160 bis 200 m Meereshöhe ansteigenden pleistozänen Platten und die geringmächtige bis auf in Talauen und auf Kuppen nahezu geschlossene Sandlössdecke (in der geologischen Karte, Abb. 2, nicht dargestellt, da Mächtigkeiten < 2 m). Klimatisch ist das Gebiet wegen der Nähe zum Nordrand des Erzgebirges stärker differenziert, als das Relief erwarten lässt. Die Jahresniederschlagsmenge nimmt von Nordwest nach Südost von 500 auf über 620 mm/a zu. Die Jahresmitteltemperatur liegt etwa bei 8 °C.

Das Untersuchungsgebiet wird durch die Flüsse Eula und Wyhra, sowie einer Anzahl kleinerer Bäche entwässert (Jordanbach, Steingrundbach, Waldbach, kleine Eula). Die seit der Bronzezeit andauernde überwiegend landwirtschaftliche Nutzung des Gebietes hat die ehemals zusammenhängende Walddecke stark reduziert (Abb. 4).

Die natürlichen Landschafts- und Vegetationsstrukturen sind in der Umgebung der Tagebaue

(Borna-Ost, Bockwitz, Witznitz, Außenhalde Trages) und Siedlungsflächen stark verändert. Durch Umgestaltungen des Grundwasserhaushaltes, wie Grundwasserabsenkung und Kanalisation der Fließgewässer, sind die ursprünglich vorkommenden Auwaldbiotop geschädigt. In den Tagebaurestlöchern entstanden ausgedehnte Wasserflächen. Die Tagebaue und braunkohlenverarbeitende Industrie sind im Untersuchungsgebiet derzeit bis auf die Kraftwerke Thierbach und Lippendorf stillgelegt. Die Sanierung und Rekultivierung der in Anspruch genommenen Flächen wird noch einige Zeit andauern. Die Tagebaue Borna-Ost und Bockwitz haben insgesamt eine Fläche von 1438 ha in Anspruch genommen. Davon sind bis 31.12.97 ca. 1005 ha wieder nutzbar gemacht (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, 1998).

2.2 Geologische Verhältnisse

Die vereinfachte geologische Karte (Abb. 2) zeigt an der Oberfläche des Untersuchungsgebietes überwiegend Lockersedimente des Pleistozäns.

Ältere Gesteine stehen nur in Geländeanschnitten und auf Hügeln an. Die Kuppen bestehen z. T. aus Sandsteinen, Konglomeraten und Schiefertönen des Buntsandsteins und aus rhyolithischen und andesitoiden Effusiva des Nordsächsischen Vulkanitkomplexes.

Ab dem Miozän kam es im Untersuchungsgebiet zu einer flächenhaften Sedimentation, die zur Ablagerung von Sanden und Kiesen mit Toneinlagerungen führte. Im Obereozän begann die Bildung der Hauptflözgruppe mit dem Bornaer und Thüringer Hauptflöz. Nach einer weiteren Schüttung von Sanden und Kiesen, die sich z.T. mit geringmächtigen marinen und litoralen Sedimenten verzahnen, wurde im Mittel- bis Unteroligozän die Oberflözgruppe mit dem Böhlener Oberflöz und dem Flöz Gröbers gebildet. Die Kohlebildung endete mit einer Meerestransgression, in deren Folge die Böhlener Schichten entstanden. Die im Anschluss daran im Untermiozän abgelagerte Bitterfelder Braunkohlenfolge erreichte im Gebiet südlich von Leipzig keine Abbauwürdigkeit. Jüngere tertiäre Schichten wurden erodiert (EISSMANN, 1975).

Während der Saale- und Elster- Kaltzeit stieß das Inlandeis bis über den Raum Halle- Leipzig vor. Die maximale Eisrandlage der älteren Saale- Kaltzeit läuft von Süd nach Nordwest durch das Messnetzgebiet. In beiden Kaltzeiten kam es zur Bildung von fluviatilen und glazifluviatilen Kiesen und Sanden, von glazilimnischen Bänderschuffen und -tonen und von Geschiebemergel und -lehm. Die Täler werden teilweise von den pleistozänen Kiesen der frühsaalezeitlichen Hauptterrassen gesäumt. Die Niederterrassensedimente der Flüsse sind häufig durch holozäne Auensedimente überdeckt. In der Weichsel- Kaltzeit hat das Eis den Mitteldeutschen Raum nicht erreicht, ihn aber durch periglaziäre Einflüsse geprägt. Frostwechselprozesse bewirkten Umlagerungen und Überprägungen sowie äolische und deluviale Akkumulationen. Die präweichselzeitlichen Oberflächensedimente wurden aufbereitet, für die Bodenbildung entscheidend vorgeprägt sowie größtenteils durch äolische Sedimente mit Mächtigkeiten < 2m bedeckt (Löss, Sandlöss). Dadurch entstanden die für die Böden und deren Eigenschaften bedeutsamen periglazialen Deckschichten, die in mehrgliedriger Abfolge den älteren Lockergesteinen aufliegen (ALTERMANN et al., 1978).

Im Holozän kam es zur weiteren Sedimentation in den größeren Flussauen und kleinen Tälern. Die großen Auentäler können aus ein bis zehn Meter mächtigen Kiesen und zwei bis vier Meter mächtigen sandigen, lehmig- schluffigen und tonigen Auenlehmen bestehen. Lokal treten auf Hochflächen Torflagen bis drei Meter Mächtigkeit auf.

kommen hauptsächlich in der Umgebung der Tagebaugebiete (Halde Trages, Tagebau Bockwitz, Tagebau Borna-Ost) vor, sowie im Siedlungsbereich der Städte und Dörfer. Bei diesen Substraten handelt es sich vorwiegend um kiesführende, z.T. kohle- oder kalkhaltige Kippsande, -schluffe, -lehme und -tone.

Die Böden des Untersuchungsgebietes werden vorwiegend landwirtschaftlich genutzt, wobei das Schwergewicht auf Ackerbau liegt. Grünlandnutzung in Form von Weidewirtschaft findet man eher auf nasseren Standorten (Stau- oder Grundnässe). Die vereinzelt Forststandorte beschränken sich auf extrem staunasse Böden.

2.4 Geogene und anthropogene Einflüsse auf die Elementverteilung in den Böden des Untersuchungsgebietes

Einen wesentlichen Einfluss auf die primäre Elementverteilung in den Böden haben die bodenbildenden Substrate, welche bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden. Die Spurenelementgehalte der quartären und tertiären Lockersedimente können in Abhängigkeit von ihrer Bindigkeit stark schwanken. Die Böden aus Schluffen, Lehmen und Tonen haben generell höhere Gehalte an Arsen und Schwermetallen als die aus Sanden und Kiesen (vgl. auch RANK et al., 1999). Durch die häufige Vermischung der Substrate untereinander (periglaziale Deckschichten) kommt es oft zu einem Angleichen der Elementgehalte verschiedener Ausgangsgesteine.

Kippböden weisen andere Merkmale als natürliche Böden auf, da sie aus künstlich umgelagerten Sedimenten entstanden sind. Die Substratzusammensetzung wird wesentlich durch die Verkippungstechnologie und die geologische Vorfeldsituation bestimmt. Böden, die in ihrem Substrataufbau und dem Entwicklungszustand weitgehend übereinstimmen werden in Kipp-Bodenformen zusammengefasst. Nach WÜNSCHE & ALTERMANN (1990) gelten die Korngrößenzusammensetzung, der Kohlegehalt und der Karbonatgehalt als differenzierende Substratmerkmale für die Bildung der Hauptbodenformen. Als Zusatzmerkmal wird der Schwefelgehalt berücksichtigt. Kohleführende Kippsubstrate enthalten häufig FeS, welches infolge der Oxidation zu niedrigen pH-Werten und erhöhten Salzgehalten in den Böden führt. Nach WÜNSCHE (1980) kommen bei der Rekultivierung im Leipzig-Bornaer Braunkohlenrevier quartäre und tertiäre Abraumschichten zum Einsatz. Die quartären Sande sind nahezu frei von Schwefel, weisen eine schwach bis mäßig saure Bodenreaktion auf und haben eine mittlere Basensättigung. In den älteren tertiären Sanden treten dagegen eine geringe Basensättigung und eine saure Bodenreaktion auf. In die Halden und Kippen können z.T. Klärschlämme, Aschen und Rückstände der Braunkohlenveredlung (Teer) eingebracht bzw. verpült sein (z. B. Außenhalde Trages).

Einen bedeutenden Faktor für den anthropogenen Eintrag von Elementen in die Böden des Untersuchungsgebietes stellen die Emissionen der Industrie- und Braunkohlenveredlungsbetriebe der Region dar. Borna, Mölbis, Thierbach und Lippendorf waren bzw. sind Standorte von Braunkohlenkraftwerken und Brikettfabriken. Das Ausmaß der Emissionen hing in erster Linie von der Menge der geförderten und verbrannten Braunkohle ab. Eine deutliche Abnahme der Emissionsbelastung ist nach 1990 durch die Stilllegung vieler Industriebetriebe, die Installation neuer Filteranlagen bzw. veränderte Heizverfahren in den Großfeuerungsanlagen und die Umstellung der Hausfeuerungsanlagen auf andere Energieträger zu verzeichnen. An den Messstellen Borna und Böhlen des Immissionsmessnetzes des Freistaates Sachsen (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 1994, 1996, 2000) ist deshalb seit 1992 ein deutlicher Rückgang der Luftschadstoffe zu beobachten. Besonders die SO₂-Emissionen und Immissionen sind stark rückläufig. Die Jahresmittelwerte der SO₂-Immission betragen an der Messstelle Böhlen 1992 92 µg/m³, 1999 betragen sie nur noch 8 µg/m³. An der Messstelle Borna wurden 1999 6 µg/m³ gemessen. Der Jahresmittelwert des Schwebstaubeintrages an der Messstelle Borna lag 1995 bei 95 µg/m³, davon entfielen auf das Element Pb 44 ng/m³, auf Cd 0,57 ng/m³, auf As 4,6 ng/m³, auf Cr 6,4 ng/m³ und auf Ni

4,1 ng/m³. 1999 lag der Jahresmittelwert des Schwebstaubniederschlages bei 27 µg/m³ (Pb 20 ng/m³, Cd 0,26 ng/m³, As 2,4 ng/m³, Cr 1,7 ng/m³ und Ni 1,4 ng/m³). Die Gehalte an As und Schwermetallen im Schwebstaub haben sich über diesen Zeitraum je Element mindestens halbiert. Die chemische Zusammensetzung der Stäube hängt von den verwendeten Kohlesorten, Produktionsprozessen und der Verweildauer in der Atmosphäre ab. Die Braunkohlen des Weißelsterbeckens haben im Vergleich mit anderen Revieren nach PÄLCHEN et al. (1986) niedrigere Gehalte an Arsen und Schwermetallen. Die Elementgehalte in den Kohlen des Bornaer Hauptflözes liegen nach JOCHENS (1989) meist leicht unter den Gehalten ihrer Aschen (WOLF, 1984). Die Aschen weisen dagegen deutlich niedrigere Hg- Gehalte als die Kohlen auf, d.h. Hg wird bei der Verbrennung weggeführt und kann über Immissionen in den Boden eingetragen werden.

3 Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Feldarbeiten und Dokumentation

Die Konzeption des Bodenmessnetzes Borna sowie die Ausschreibung der Probenahme und deren fachliche Koordination erfolgte durch das StUFA Leipzig (Bearbeiter Fr. Dr. Jirausch).

Die Probenahme im Raster von 1 km x 1 km (Abb. 5) wurde von 08/1994 bis 10/1994 von der Firma G.E.O.S. mbH Freiberg (Bearbeiter Hr. Scherer, Hr. Günzel, Hr. Zimmermann) ausgeführt. Die Beprobung der Bodenhorizonte erfolgte an einem mit Spaten angelegten Grabloch. Je Horizont wurde eine Sammelprobe über die Gesamtmächtigkeit entnommen. Die Probenahme umfasste auf Waldflächen die Auflage-, Oberboden- und Unterbodenhorizonte, auf Landwirtschaftsflächen die Ober- und Unterbodenhorizonte und auf sonstigen Flächen die Tiefenstufen 0 bis 10 cm und 10 bis 30 cm. Mineralische Oberbodenhorizonte >40 cm wurden mit 2 Proben belegt; Unterbodenhorizonte mit einer Mächtigkeit >30 cm wurden nur im oberen Horizontbereich bis maximal 30 cm Tiefe beprobt. Die Probemenge betrug für mineralische Bodenhorizonte ca. 1000 g, für organische Auflagehorizonte ca. 300 bis 500 g. Anhand der Sondierbohrungen und Aufgrabungen wurde für jede Messstelle ein Formblatt mit der bodenkundlichen Profilbeschreibung aufgenommen. Insgesamt wurden an 132 Probenahmestellen 268 Proben entnommen. Die Archivierung der Profilbeschriebe erfolgt als Objektakte zum Dokumentationsbericht im LfUG, Amtsteil Freiberg.

3.2 Laborarbeiten

Die Probenvorbereitung und Analytik wurde von 02/95 bis 10/96 von der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft Neusörnewitz im Bereich Anorganik und Bodenphysik durchgeführt. Die Bearbeitung der Bodenproben für Probenvorbereitung und Analytik umfasste folgende Schritte:

1. Probentrocknung bei 40 °C
2. Absieben bei 2 mm
3. Bestimmung der Anteile von Fein- und Grobboden
4. Bestimmung des pH- Wertes mit 0,1 M KCl-Lösung
5. Zerkleinerung der Proben in der Achatmühle <0,1 mm
6. Aufschluss für die chemische Analyse
 - Metalle:** Totalaufschluss mit 4 ml HClO₄, 6 ml HNO₃ und 20 ml HF
 - As:** modifizierter Totalaufschluss
 - Hg:** "umgekehrter" Königswasseraufschluss mit 9 ml HNO₃ und 3 ml HCl
7. Elementanalytik Metalle
 - AAS- Flamme: **Al, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn**
 - AAS- Graphitrohr: **Cd, Cr**
 - AAS- Hydridtechnik: **As**
 - AAS- Kaltdampftechnik: **Hg**

- AES- Flamme: **K**
8. Elementanalytik Nichtmetalle
C_{org}: Verbrennung im Sauerstoffstrom
Fluorid: ionensensitive Elektrode

Die Archivierung der Laborergebnisse erfolgt ebenfalls als Objektakte zum Dokumentationsbericht und im Fachinformationssystem Boden des LfUG, Amtsteil Freiberg.

3.3 Statistische Auswertungen und Kartendarstellung

Die Grundlage für die Kartendarstellung lieferten die deskriptive Statistik und das Histogramm der Datenkollektive der Ober- und Unterböden. Traten an einer Messstelle mehrere Ober- bzw. Unterbodenhorizonte auf, wurden sie über ihre Mächtigkeit gemittelt. Da für das Untersuchungsgebiet nur von zwei Standorten Proben von Auflagehorizonten vorlagen, konnten dafür keine Karten angefertigt werden.

In Abhängigkeit von der Verteilung des Datenkollektivs (Normal- bzw. Lognormalverteilung) wurde für jedes Element die Klassenteilung in den einzelnen Horizonten bestimmt. Lagen Elementgehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze, gingen diese Proben mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze in die Berechnungen und in die Kartendarstellung ein (z. B. Cd-Gehalt <0,15 mg/kg ⇒ verrechnet als Cd-Gehalt 0,075 mg/kg).

Zur besseren Vergleichbarkeit der Karten untereinander wurde pro Element nur eine Legende für beide Horizonte gewählt. Nach Möglichkeit liegen die Medianwerte des Ober- und Unterbodens in der mittleren (gelben) Klasse. Die statistischen Kennwerte der Datenkollektive Probenanzahl, Minimum, Maximum, arithmetischer Mittelwert, 50. Percentil (= Median) und 90. Percentil sowie das Histogramm sind für jedes Element in den Karten der Ober- und Unterböden angegeben. Die geochemischen Elementkarten wurden mit dem GRID- Modul des GIS ARC/INFO erzeugt und mit ArcView dargestellt. Die Interpolation der Messwerte erfolgte mittels Inversdistanzwichtung bei einem Einwirkradius von 1600 m unter Einbeziehung von maximal 9 Messpunkten. Die Zellgröße der Raster beträgt 100 m. Die Kippenböden der Halde und Tagebaue wurden aufgrund ihrer stofflichen Besonderheiten gesondert vom restlichen Untersuchungsgebiet interpoliert.

4 Ergebnisse und deren Bewertung aus umweltrelevanter Sicht

4.1 Bewertungsgrundlagen

Am 05./06.02.1998 beschlossen Bundestag und Bundesrat das Gesetz zum Schutz des Bodens (Bundes-Bodenschutzgesetz-BBodSchG). Das untergesetzliche Regelwerk, die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) trat 1999 in Kraft. Diese Durchführungsverordnung enthält u.a. Regelungen zu den Anforderungen an die Untersuchung von Böden (z. B. Festlegung von Extraktionsverfahren) und zur Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen (Festlegung von Vorsorgewerten). Die Hauptaufgabe des BBodSchG ist die Schaffung bundeseinheitlicher quantifizierbarer Beurteilungsmaßstäbe für die Gefährdungspfade Boden → Mensch, Boden → Nutzpflanze und Boden → Grundwasser. Als Bezugsbasis für die Bewertung der Stoffgehalte dienen die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV (Tab. 1). Generell ist zu beachten, dass sich die Prüf- und Maßnahmenwerte auf Königswasser- bzw. Ammoniumnitratextraktionen beziehen, die anorganischen Komponenten des Bodenmessnetzes Borna aber aus dem Totalaufschluss bestimmt sind. Die Totalgehalte liegen in Abhängigkeit vom Element mehr oder weniger über den aus dem Königswasser-Extrakt bestimmten Gehalten. Die Gehalte können nach UTERMANN et al. (1999) ineinander umgerechnet werden.

4.2 pH- Wert und Spurenelemente

Die Spurenelementgehalte der Böden des Untersuchungsgebietes bewegen sich aufgrund der geringen geochemischen Spezialisierung der Substrate tendenziell auf niedrigem Niveau. Auch die Übersichtskarten des Bodenatlas des Freistaates Sachsen (RANK et al., 1999) zeigen keine Anomalien im Messnetzgebiet.

Die **pH-Werte** im Ober- und Unterboden liegen durchschnittlich zwischen 5,0 und 6,5. Interessant ist, dass in den Oberböden unter Wald der pH- Wert meist höher ist als in den Oberböden bei Ackernutzung. In den Unterböden treten i. d. R. niedrigere pH-Werte als in den Oberböden auf. Die Untersuchungen an sächsischen Böden (vgl. RANK et al., 1999) zeigen dagegen den entgegengesetzten Trend. Im Untersuchungsgebiet kommt deutlich der Einfluss des Ca- Eintrages über die Immissionen zum Ausdruck, welcher hier der allgemeinen Versauerung der Waldböden entgegenwirkt.

Auch die pH-Werte der Kippböden bewegen sich durch den höheren Karbonatgehalt der Ausgangssubstrate bzw. durch den zusätzlichen Immissionseintrag häufig im basischen Bereich. Ein direkter Zusammenhang zwischen den pH-Werten und der Spurenelementführung im Boden lässt sich nicht nachweisen.

Die Elemente **Cadmium, Quecksilber, Blei** und **Zink** sind im Oberboden gegenüber dem Unterboden deutlich angereichert. Sie sind vermutlich durch den Staubeintrag aus Emissionen des Hausbrandes, der Großfeuerungsanlagen, Braunkohlenkraftwerke und Brikettfabriken verursacht. Die Anomalien der o. g. Elemente weisen vorwiegend Ost-West-Strukturen auf, welche mit der vorherrschenden Hauptwindrichtung in diesem Gebiet übereinstimmen (STEINE UND ERDEN PLANUNGSGESELLSCHAFT mbH, 1999), oder befinden sich in Siedlungsnähe. Auffallend sind die häufig deutlich niedrigen Gehalte dieser Elemente in den Kippböden des Tagebaus Bockwitz. Da diese Böden erst durch die Rekultivierung aus schwermetallarmen Substraten entstanden sind, waren sie den Emissionen nicht über einen so langen Zeitraum ausgesetzt wie die natürlichen Böden. Die Böden der Außenhalde Trages sind dagegen meist bis in den Unterboden stärker als die Böden der Umgebung belastet. In der Halde wurden zur Böschungsstabilisierung Aschen des Braunkohlenkraftwerkes Thierbach verspült, die zu den beobachteten Elementanreicherungen führen können. Die Profilbeschreibung des Standortes weist von 0-30 cm Asche und von 30-50 cm Teer aus. Auch in den Böden der Stadt Borna treten Aschen und Kohlestücken auf.

Die Verbreitung der Elemente **Arsen, Chrom, Kupfer, Fluor, Nickel** und **Mangan** ändert sich vom Ober- zum Unterboden nicht wesentlich und ist i. W. substratbedingt. Die Böden aus den fluviatilen bis glazifluviatilen Kiesen und Sanden haben deutlich geringere Elementgehalte als die Böden aus Geschiebemergel, Löss und Gehängelehm (vgl. auch RANK et al., 1999). Die Arsenanomalie zwischen dem Tagebau Bockwitz und Bad Lausick ist im Unterboden noch stärker ausgeprägt als im Oberboden und könnte durch Kontamination dieser meist wasserbeeinflussten Böden (Gleye, Kolluvisole) über die Vorfluter entstanden sein. In vernässten Böden können im Unterboden Anreicherungen von Eisen und Mangan durch reduzierende Verhältnisse auftreten.

4.3 Hauptelemente

Die Hauptelementgehalte im Unterboden spiegeln die Verhältnisse in den Substraten wider, wobei die Konzentrationen der Hauptelemente i. d. R. vom Unter- zum Oberboden hin abnehmen und mit der Verwitterung die Auflösung der Minerale und Wegführung von Stoffen verbunden ist. Das Element **Calcium** ist dagegen im Oberboden angereichert. Die Ursachen dafür sind zum Einen der Emissionseintrag über die Kraftwerke, zum Anderen die karbonathaltigen Substrate der rekultivierten Flächen und die Einlagerung von Aschen in den Halden. Weiterhin fällt die sich gegenüber der Umgebung deutlich abzeichnende **Natrium-** und **Kaliumarmut** der Böden der rekultivierten Flächen auf. Die Böden aus sandigen Substraten haben generell niedrige Kaliumgehalte.

5 Schlussfolgerungen

Obwohl die Untersuchungsmethodik der Bodenuntersuchungen auf die Bestimmung der Totalgehalte ausgerichtet war, ist eine erste Bewertung der Stoffgehalte nach der jetzt gültigen BBodSchV (BMU, 1999) möglich. Aufgrund des insgesamt relativ niedrigen Gehaltsniveaus der As- und Schwermetallgehalte wurde auf eine Umrechnung der Total- in Königswasser-gehalte verzichtet.

Die Untersuchungsergebnisse des Bodenmessnetzes Borna ergaben keine Bestätigung des Verdachts, dass durch die Emissionen der braunkohlenverarbeitenden Industrie großflächige Bodenkontaminationen mit Arsen und Schwermetallen im Untersuchungsgebiet erfolgten.

Die natürlichen Elementgehalte der Böden des Messnetzes Borna bewegen sich durch die überwiegend tertiären und quartären Substrate auf niedrigem Niveau. Durch die jahrelang andauernden Emissionsbelastungen wurden zwar Elemente eingetragen, ihre Totalgehalte in den Böden überschreiten aber nur in seltenen Fällen die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV.

Auf einem Ackerstandort wird im Unterboden der Prüfwert für Arsen in Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen von 50 mg/kg überschritten, an zwei Grünlandstandorten der Maßnahmenwert für Arsen von 50 mg/kg. Die Oberbodenproben dieser drei Standorte weisen keine Überschreitung der o. g. Werte auf. Da sich diese Standorte in Bachtälern befinden liegt eine As- Anreicherung über die Vorfluter nahe.

Der Gefährdungspfad Boden-Mensch ist im Ergebnis dieser Untersuchungen nicht relevant, da die Prüfwerte für die sensibelste Nutzung (Kinderspielflächen) nur auf der Außenhalde Trages (As, Cd) überschritten werden.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird für das Messnetzgebiet generell kein weiterer Untersuchungsbedarf gesehen.

6 Literatur

ALTERMANN, M; HAASE, G.; LIEBEROTH, I. & RUSKE, R. (1978): Lithologie, Genese und Verbreitung der Löß- und Schuttsedimente im Vorland der skandinavischen Vereisungen.- Schriftenreihe Geol. Wiss., 9, 231-255, Berlin.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1999): Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe.- Schriftenreihe für geologische Wissenschaften, Heft 2, Akademie- Verlag, Berlin.

HAZARD, J. & GÄBERT, C. (1902): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte des Königreichs Sachsen, Section Lausigk-Borna.- 2. Aufl., Giesecke & Devrient, Leipzig und Berlin.

JOCHENS, T. (1998): Mineralogische und geochemische Untersuchungen an ausgewählten Braunkohlen und deren Begleitschichten des BKW Borna.- Unveröffentl. Praktikumsarbeit, TU Bergakademie, Freiberg.

JOISTEN, H. (2000): Bodenkarte des Freistaates Sachsen 1:50 000, Blatt L 4940 Borna. – Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Dresden.

KARDEL, K.; SYMMANGK, R., WEIDENSDÖRFER, H., RANK, G. & PÄLCHEN, W. (1999): Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen, Bodenmessnetz Radebeul, Raster 1 km x 1 km.- Unveröff. Bericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg

KARDEL, K.; WEIDENSDÖRFER, H. & RANK, G. (2000): Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen, Bodenmessnetz Zittau, Raster 1 km x 1 km.- Unveröff. Dokumentations- und Kurzbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.

KARDEL, K.; WEIDENSDÖRFER, H.; RANK, G. & HEILMANN, H. (2000): Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen, Bodenmessnetz Zwickau, Raster 1 km x 1 km.- Unveröff. Dokumentations- und Kurzbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.

MANNSFELD, K. & RICHTER, H. (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen.- Zentralausschuss für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.

OSSENKOPF, P. & PÄLCHEN, W. (1992): Umweltmeßnetze Freistaat Sachsen. Konzeption Bodenmeßprogramm.- Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul.

PÄLCHEN, W.; DARBINJAN, F.; ZIMMERMANN, G.; LAUER, M.; MEINEL, G. & JUNGWIRTH, J. (1986): Lagerstättengeologische Forschung Braunkohle-Geochemie, Teil 1: Zusammenfassung der Ergebnisse.- Unveröff. Ber., VEB Geolog. Forsch. u. Erkundung, Freiberg.

RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W.; SYMMANGK, R. & WEIDENSDÖRFER, H. (1997): Bodenmeßnetz Ehrenfriedersdorf.- Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul.

RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W. & WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3: Bodenmeßnetz Raster 4 km x 4 km.- Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.

RANK, G.; KARDEL, K. & WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Die Schwermetallgehalte der Böden des Freiburger Raumes für die Bewertung der Gefährdungspfade Boden \Rightarrow Mensch, Boden \Rightarrow Nutzpflanze und Boden \Rightarrow Sickerwasser nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).- Unveröff. Sachstandsbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.

RANK, G.; KARDEL, K. & WEIDENSDÖRFER, H. (2000): 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).- Unveröff. Sachstandsbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.

REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1998): Braunkohlenplanung in Westsachsen.- Leipzig.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (SML) (1993): Aktionsprogramm Ländlicher Raum, Dorfentwicklung, Land- und Forstwirtschaft in Braunkohlelandschaften, Bereich Delitzsch, Borna, Oberlausitz.- Dresden.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (1996): Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen 1: 50000, Blatt Mittweida.- Freiberg.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (1994): Jahresbericht zur Immissionssituation 1993.- Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (1996): Jahresbericht zur Immissionssituation 1995.- Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (2000): Jahresbericht zur Immissionssituation 1999.- Dresden.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (2001): Bodenkarte des Freistaates Sachsen 1: 50000, Blatt L4940 Borna; Dresden.

STEINE UND ERDEN PLANUNGSGESELLSCHAFT mbH (1999): Zustand, Entwicklung und multifunktionale Wirkung von Wald- und Forstökosystemen auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus in Abhängigkeit vom Geotop, von der Rekultivierungsart und der waldbaulichen Behandlung.- Unveröff. Ber. des von der Dt. Bundesstiftung Umwelt geförd. Forsch.-vorhabens; Dresden.

UTERMANN, J.; DÜWEL, O.; FUCHS, M.; GÄBLER, H. E.; GEHRT, E.; HINDEL, R. & SCHNEIDER, J. (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten.- UBA-Projekt FuE 297 71 010, Bundesanst. f. Geowiss. u. Rohstoffe (BGR), Hannover.

WOLF, P. (1984): Vergleichende geochemische Untersuchungen über umweltbelastende Elemente in Abhängigkeit vom Braunkohlenrevier (BKK Bitterfeld).- Diplomarbeit, Bergakademie, Freiberg.

WÜNSCHE, M. (1980): Die bodenphysikalisch-chemischen Eigenschaften der Abraumsubstrate im Leipzig-Bornaer Braunkohlenrevier.- Broschürenreihe Techn. und Umweltsch. "Luft-Wasser-Boden-Lärm", Abproduktnutzung, 24, 149-160, VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

WÜNSCHE, M. & ALTERMANN, M. (1990): Klassifikation der Kippenböden in den Braunkohlenrevieren des Mitteldeutschen Raumes.- Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., 62, 163-166; Oldenburg.

7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Prüf- und Maßnahmenwerte nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999)

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Bodenmessnetze im Freistaat Sachsen
Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte
Abb. 3: Vereinfachte Bodenkarte
Abb. 4: Karte der Bodennutzung
Abb. 5: Karte der Probenahmepunkte
Abb. 6.1: pH- Wert im mineralischen Oberboden
Abb. 6.2: pH- Wert im Unterboden
Abb. 7.1: Arsen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 7.2: Arsen im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 8.1: Cadmium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 8.2: Cadmium im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 9.1: Chrom im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 9.2: Chrom im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 10.1: Kupfer im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 10.2: Kupfer im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 11.1: Fluor im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)

- Abb. 11.2: Fluor im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 12.1: Quecksilber im mineralischen Oberboden (Gesamtgehalte Königswasser)
- Abb. 12.2: Quecksilber im Unterboden (Gesamtgehalte Königswasser)
- Abb. 13.1: Mangan im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 13.2: Mangan im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 14.1: Nickel im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 14.2: Nickel im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 15.1: Blei im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 15.2: Blei im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 16.1: Zink im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 16.2: Zink im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 17.1: Aluminium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 17.2: Aluminium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 18.1: Calcium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 18.2: Calcium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 19.1: Eisen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 19.2: Eisen im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 20.1: Kalium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 20.2: Kalium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 21.1: Magnesium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 21.2: Magnesium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 22.1: Natrium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 22.2: Natrium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 23.1: Gesamt- Phosphor im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 23.2: Gesamt- Phosphor im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 24.1: Organischer Kohlenstoff im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 24.2: Organischer Kohlenstoff im Unterboden (Totalgehalte)

Tab. 1: Prüf- und Maßnahmenwerte 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- aufschluß	Prüfwert	Maßnah- menwert	Proben- aufschluß	Prüfwert
	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	(AN)	10
Tl						AN; µg/kg	100		KW		15		
Hg	KW	10	20	50	80	KW; mg/kg	5		KW		2	Boden-	1
Cu											200 ³⁾ 1300	sättig.- extrakt	50
Ni	KW	70	140	350	900						1900		50
Sb													10
Cr _{ges}	KW	200	400	1000	1000							Elution	50
Chromat												mit	8
Co												Wasser	50
Mo													50
Se													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