

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

Bearbeiter:

K. Kardel; H. Weidensdörfer; G. Rank; H. Heilmann

Dokumentations- und Kurzbericht

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Stand 31.05.2000

Inhaltsverzeichnis

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

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; Abb. 1). Zur Untersuchung langfristiger Veränderungen der Böden werden landesweit ca. 50 Bodendauerbeobachtungsflächen eingerichtet (Bodenmonitoring).

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).

Bezüglich der Bodenmessnetze ist 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., 2000) und Zittau (KARDEL et al., 2000) abgeschlossen.

2 Allgemeine Angaben zum Untersuchungsgebiet

2.1 Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich östlich von Zwickau und nimmt eine Fläche von ca. 117 km² ein. Das Bodenmessnetz umfasst Teile der topographischen Karten 1 : 25 000 (TK25) Zwickau (5240), Zwickau Ost (5241), Zwickau Süd (5340) und Wilkau-Haßlau (5341). Die Konturierung des Messgebiets erfolgte durch das StUFA Plauen. Ziel der Bodenuntersuchung war zu prüfen, ob durch den jahrzehntelangen Betrieb der Uranerz-Aufbereitungsanlagen bei Zwickau sowie durch Industrieanlagen Schwermetallbelastungen in den Böden verursacht wurden.

Hinsichtlich seiner naturräumlichen Gliederung gehört das Untersuchungsgebiet zur Vorerzgebirgssenne, der südliche Teil erstreckt sich bis in die unteren Lagen des Erzgebirges.

2.2 Geologie und Mineralisationen

Die Geologie des Untersuchungsgebietes wird von verschiedenen Fest- und Lockergesteinen des Grundgebirgs-, Molasse und Deckgebirgsstockwerkes bestimmt und führt so zu einem breiten Spektrum an bodenbildenden Substraten (Abb. 2).

Im nordwestlichen Teil des Gebietes bis in Höhe von Wilkau- Haßlau sind überwiegend die Sedimente der Muldenaue, sowie pleistozäne und tertiäre Lockersedimente unterschiedlicher Bindigkeit (Kiese, Sande, Schluffe, Tone) verbreitet. Im westlich Teil treten vor allem die Sedimente des Rotliegenden mit lokal eingeschalteten sauren bis basischen Vulkaniten auf.

Nach Süden schließen sich das Karbon und die Metamorphite des Grundgebirges an (Tonschiefer, Schluffschiefer, Quarzite). Das steinkohlenführende Oberkarbon streicht oberflächlich nur in einem Aufschluss bei Cainsdorf aus. Im Oberkarbon und Devon kam es zu Intrusionen von basischen Vulkaniten (Phänobasalt, Diabas). Die ältesten Gesteine (Paragneise) kommen im Wildenfesler Kristallin vor. An die Vorerzgebirgssenke und die ordovizischen Schluffschiefer des Erzgebirges schließt sich im Süden der permokarbone Granit von Kirchberg an.

Im Untersuchungsgebiet treten zahlreiche NW-SO verlaufende Störungen der Gera-Jachymov-Zone auf. Mineralisationen, welche die Schwermetallführung der Böden beeinflussen könnten, sind im Untersuchungsgebiet nur nördlich von Wilkau-Haßlau bekannt (ordovizische Tonschiefer mit Hg, Sb; WASTERNAK et al., 1995).

2.3 Bodengesellschaften und Bodennutzung

Der überwiegende Teil des Untersuchungsgebietes liegt in der Bodenlandschaft "Vorerzgebirgisches Becken" und gehört somit zur Bodenregion "Löss- und Sandlösslandschaften". In der Südhälfte erfolgt der Übergang zur Bodenlandschaft der "Unteren und mittleren Lagen des Erzgebirges".

Dementsprechend vollzieht sich von Nord nach Süd ein allmählicher Wechsel der bodenbildenden Substrate (Abb. 3). Der Norden und die Mitte weisen eine mehr oder weniger geschlossene Lössdecke unterschiedlicher Mächtigkeit auf, die von pleistozänen und tertiären Lockergesteinen bzw. verfestigten Rotliegendensedimenten unterlagert wird. Lediglich Konglomerate des Rotliegenden durchbrechen stellenweise diese Lössdecke. In südlicher Richtung nimmt die Lössmächtigkeit kontinuierlich ab, wobei sich die Decke inselartig auflöst. An die Stelle des Lösses treten zunehmend Verwitterungsprodukte des Grundgebirges, die eine breite petrographische Spanne aufweisen. Neben weit verbreiteten schwach metamorphen Ton- und Schluffschiefern treten Gneise sowie saure bis basische Magmatite auf, deren Chemismus sich jedoch nicht immer bis in die Oberböden durchprägt. Ursache dafür ist die Existenz der für das Bergland charakteristischen periglazialen Deckschichten. Ihre vielfältige Entstehungsgeschichte beinhaltet sowohl hangabwärts gerichteten Substrattransport (Solifluktion) als auch in situ Vermengungsprozesse (Kryoturbation), die sich in der Regel überlagern und insgesamt als "solimixtiv" bezeichnet werden. Das dabei entstandene Substratgemenge beinhaltet Verwitterungsprodukte des Anstehenden sowie hangaufwärts abgetragenen Materials ebenso wie wechselnde äolische Anteile. Die zu Beginn des Holozäns einsetzenden und bis heute anhaltenden Bodenbildungsprozesse haben den Chemismus dieses Deckschichtenkomplexes intensiv überprägt, so dass ein genetischer Bezug zum unterlagernden Gestein in Folge aller geschilderten Prozesse häufig nur schwer zu erkennen ist.

Die Entwässerung des Gebietes erfolgt durch die Zwickauer Mulde in nördlicher Richtung. Vor allem im Vorerzgebirgischen Becken hat sie einen breiten Sedimentstreifen hinterlassen, der in weiten Teilen der Auendynamik unterliegt. Teilweise ist er, wie auch angrenzende Bereiche, in Folge städtebaulicher Maßnahmen großflächig versiegelt.

Bodentypologisch ist der Auenbereich gekennzeichnet durch Vegen und Gleye sowie deren Subtypen aus Schluff, Lehm und Sand, häufig unterlagert von sandig-kiesigem Terrassenmaterial. In den seitlichen Zuläufen sind Gleye und Kolluvisole aus meist lösshaltigen Sedimenten vergesellschaftet.

Die Lösses des Vorerzgebirgischen Beckens sind überwiegend pseudovergleyt. Das gilt sowohl für die Standorte über Geschiebelehm als auch über Rotliegendem. Wo Konglomerate an der Oberfläche anstehen, treten saure Braunerden aus Kies- oder Schuttsand auf.

Die erzgebirgischen Standorte über Grundgestein werden von meist sauren Braunerden aus grusführendem Lehm eingenommen, auf Lössinseln treten auch Parabraunerden auf. In Abhängigkeit von Morphologie und Substrataufbau gesellen sich Pseudogleye hinzu. Auf den im Süden des Gebietes anstehenden Graniten haben sich Podsole und Podsol-Braunerden aus meist stark grobbodenhaltigen Sanden und Lehmen entwickelt.

Insgesamt zeichnet sich der Untersuchungsraum durch landwirtschaftliche Nutzung aus. Wohl in Folge der großen Verbreitung staunasser Böden ist der Grünlandanteil nicht wesentlich geringer als ackerbaulich genutzte Flächen. Die wenigen vorhandenen forstlichen Standorte beschränken sich auf Vorkommen oberflächennah anstehender Festgesteine bzw. extremer Staunässe.

Das Tal der Zwickauer Mulde sowie die begleitenden Hänge werden in erheblichem Maße von Siedlungs- und Verkehrsflächen eingenommen.

2.3 Geogene und anthropogene Einflüsse auf die Elementverteilung in den Böden des Untersuchungsgebiets

Die Substrate der Bodenbildung haben einen entscheidenden Einfluss auf die Elementgehalte in den Böden. Während die känozoischen Sande und Kiese primär keine Elementanreicherungen aufweisen, kommt es in den bindigeren Lockersedimenten (Löss, Geschiebelehm) durch den höheren Feinkornanteil zu einem deutlichen Anstieg bestimmter Elemente, die sich auch in den Böden wiederfinden. Generell höhere Elementgehalte sind auch in den Phylliten, Ton- und Schluffschiefern des Erzgebirges vorhanden (vgl. KARDEL et al., 1996). Geochemische Spezialisierungen an Chrom, Nickel, Mangan, Kupfer und Eisen sind an die basischen Vulkanite des Karbons und Devons und an die in ordovizischen Schluffschiefern verbreiteten Metabasite gebunden. Die Sedimente des Rotliegenden (vor allem der Mülsen-Folge) können erhöhte Arsengehalte aufweisen (WENDLAND et al., 1997). Da das Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde in den Mineralisations- und Bergbaugebieten des Erzgebirges liegt, können in den Auenböden Anreicherungen von Arsen und Schwermetallen auftreten.

Einen weiteren Einfluss auf die Elementgehalte in den Böden hat die Entwicklung der Region Zwickau zu einem industriellen Ballungsgebiet. Zwickau wurde besonders durch den Steinkohlenbergbau und die damit historisch entstandene Industrie geprägt. Zu den umweltrelevanten Anlagen gehörten nach SCHIERIG (1998) vor allem die Steinkohlenveredlungsindustrie, der Maschinen- und Fahrzeugbau, sowie die chemische und pharmazeutische Industrie. Diese Betriebe verursachten vor allem Emissionen von Schwermetallen, Kohlenwasserstoffen, sowie schwefel- und stickstoffhaltigen Abgasen, die neben der Luftbeeinträchtigung auch zu Bodenbelastungen und Grundwasserkontaminationen führen können. Seit 1993 ist der zentrale Teil des Stadtgebietes Untersuchungsgegenstand der modellhaften Altlastenbehandlung im Rahmen des Altlasten- Modellstandort (MOST)- Programms des Freistaates Sachsen (SMUL, 1999).

Im nördlichen Teil des Messnetzgebietes bei Crossen befindet sich eine ehemalige Uranerz-Aufbereitungsanlage der SDAG Wismut, wo neben dem Haupterzmineral Pechblende (UO_2) gediegenen Arsen sowie Kobalt- und Nickelarsenide im Aufbereitungsprozess verarbeitet wurden. Die dazugehörigen Absetzanlagen (Schlammteiche Oberrothenbach) liegen nicht mehr im Untersuchungsgebiet des Bodenmessnetzes, entwässern aber in die Zwickauer Mulde und bilden somit eine weitere potentielle Schadstoffquelle für die Auenböden.

3 Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Feldarbeiten und Dokumentation

Die Konzeption des Bodenmessnetzes Zwickau sowie die Ausschreibung der Probenahme und deren fachliche Koordination erfolgten durch das StUFA Plauen (Bearbeiter Herr Jung). Die Probenahme im Raster von 1 km x 1 km (Abb. 4) wurde von 10/1993 bis 1/1994 von der Firma Geomontan GbR (Bearbeiter Herr Dr. Mucke) ausgeführt. Die Beprobung der Bodenhorizonte erfolgte an einem mit Spaten angelegtem 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 Mächtigkeit 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 125 Probenahmestellen 288 Proben entnommen. Die Archivierung der Profilbeschreibungen erfolgt als Objektakte zum Dokumentationsbericht im LfUG, Berichtsarchiv Freiberg. Die bodenkundlichen Daten und Analyseergebnisse gehen in das FIS Boden ein.

3.2 Laborarbeiten

Die Probenvorbereitung und Analytik wurde von 07/ 1994 bis 11/ 1994 von den Firmen ERGO Umweltinstitut GmbH Dresden und der Freiburger NE-Metall GmbH 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 im LfUG, Berichtsarchiv Freiberg.

3.3 Statistische Auswertungen und Kartendarstellungen

Die Grundlage für die Kartendarstellung lieferten die deskriptive Statistik und das Histogramm der Datenkollektive der Auflagehorizonte, Ober- und Unterböden. Traten an einer Messstelle mehrere Ober- bzw. Unterbodenhorizonte auf, wurden sie über ihre Mächtigkeit gemittelt. 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. Hg-Gehalt <0,03 mg/kg ⇒ verrechnet als Hg-Gehalt 0,015 mg/kg). Zur besseren Vergleichbarkeit der Karten untereinander wurde pro Element nur eine Legende für alle drei 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 Auflageho-

rizonte, 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 Inversdistanzweighting bei einem Einwirkradius von 1600 m unter Einbeziehung von maximal 9 Messpunkten. Die Zellgröße der Raster beträgt 100 m. Die Proben aus den Auenböden der Zwickauer Mulde wurden aus pedogenetischen Gründen 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 Zwickau 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 pH- Werte und die Spurenelementgehalte in den einzelnen Bodenhorizonten sind unter den Abbildungsnummern 5.1 bis 5.12 dargestellt.

Die übersichtsmäßige Darstellung der Böden des Freistaates Sachsen im Bodenatlas Teil 3 (vgl. RANK et al., 1999) zeigt in den Böden des Zwickauer Raums, analog den Böden des Erzgebirges, meist deutlich höhere Elementgehalte als in den Böden über den känozoischen Lockersedimenten in Nordsachsen. Das liegt einerseits an dem lithologisch bedingten Elementangebot der Substrate (geochemische Spezialisierung), andererseits an den Mineralisationen des Erzgebirges, die infolge der Abtragung und Sedimentation in der Vorerzgebirgsenke zur Ablagerung kamen. Mit den Ergebnissen des Bodenmessnetzes Zwickau kann die Elementverteilung in den Böden infolge der höheren Probedichte weiter aufgelöst und spezifiziert werden.

Vergleicht man die Karten der einzelnen Horizonte des Bodenmessnetzes Zwickau miteinander, fällt eine deutliche (massebezogene) **Anreicherung der Elemente Arsen, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Blei in den organischen Auflagehorizonten** gegenüber den mineralischen Bodenhorizonten auf. Diese Elemente wurden ubiquitär über den Luftpfad (Verkehr, Industrie, Hausbrand, Steinkohlenkokereien) in den Boden eingetragen und teilweise durch die organische Substanz gebunden. Ihre Gehalte fallen bereits im Oberboden deutlich ab und erreichen im Unterboden den Bereich der Hintergrundwerte für die entsprechenden Substrate (vgl. RANK et al., 1999). Besonders bei den Elementen Arsen, Cadmium, Quecksilber und Blei ist der Mediangehalt (gesamt) des Unterbodens niedriger als die Hälfte des Mediangehalts des Oberbodens, was deutlich für einen anthropogenen Eintrag spricht. Die Elemente **Arsen, Kupfer, Fluor, Blei, Uran und Zink** haben weiterhin eine **wesentliche Anreicherung in den Auenböden** erfahren. Diese resultiert sowohl aus dem industriellen Eintrag in die Vorfluter (z. B. Absetzanlage bei Crossen) als auch aus dem Transport der

Verwitterungsprodukte aus dem Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde (Gesteine, Mineralisationen des Erzgebirges).

Untersuchungen der Auenböden durch BEUGE & ULIQUE (1997) ergaben durchschnittliche Gehalte für Arsen von 100-150 mg/kg, Cadmium von 2 bis 5 mg/kg, Kupfer von 50 bis 150 mg/kg, Blei von 100 bis 150 mg/kg, Zink von 100 bis 450 mg/kg und Uran von 25 bis 50 mg/kg in den oberen Horizonten von Auenprofilen der Zwickauer Mulde östlich von Zwickau und südlich von Glauchau.

Untersuchungen an ausgewählten Proben mittels Ammoniumnitratextraktion zeigen besonders für das Element Cadmium eine relativ hohe Verfügbarkeit. Zwei Proben besitzen mobile **Cd-Gehalte oberhalb des Maßnahmenwertes von 100 µg/kg** (Pfad Boden-Nutzpflanze, Ackerbau/Nutzgarten).

In den flussnahen Profilen sind erhöhte Elementgehalte z. T. bis in die unteren Bodenhorizonte festzustellen, in den flussferneren Profilen nimmt die primär geringere Belastung der Oberbodenproben mit zunehmender Teufe deutlich ab.

Die geogen bedingten z. T. erhöhten Arsengehalte der Rotliegendensedimente haben in den Unterböden des Untersuchungsgebietes nur eine untergeordnete Bedeutung, da sie von känozoischen Lockersedimenten mit geringeren Arsengehalten überdeckt werden. Punktuelle Maxima treten nur in Talanschnitten auf (z. B. bei Mülsen St. Niclas).

Die Konzentrationen der für basische Gesteine typischen Elemente wie Chrom, Kupfer, Nickel und Mangan variieren innerhalb der mineralischen Bodenhorizonte kaum. Maxima dieser Elemente treten z. B. südlich von Friedrichsthal und Friedrichsgrün auf und sind hauptsächlich auf das Verbreitungsgebiet basischer Vulkanite konzentriert.

Die Urangelhalte der Böden im Untersuchungsgebiet liegen fast alle unter der Bestimmungsgrenze von 5 mg/kg, nur von 3 Auenbodenproben bei Wiesenburg wird dieser Wert überschritten. In den Oh-Horizonten östlich von Thurm treten U-Gehalte bis 10 mg/kg auf, die evtl. auf anthropogene Einträge durch die Uranerzaufbereitung Crossen zurückzuführen sind. Die hohen Ni-Gehalte in der organischen Auflage südlich und östlich Thurm werden vermutlich durch die ehemalige Ni-Hütte St. Egidien verursacht.

Vergleicht man die Arsen- und Schwermetallgehalte des Bodenmessnetzes Zwickau mit den Prüf- und Maßnahmenwerten der Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BMU, 1999), ist festzustellen, dass diese nur selten erreicht werden. Der Maßnahmenwert für **Arsen bei Grünlandnutzung** von 50 mg/kg wird im Oberboden an 4 Standorten überschritten. Diese Standorte liegen fast alle in Flussauen und sind daher anthropogen stärker belastet. Die Maßnahmenwerte der übrigen Elemente werden im Untersuchungsgebiet nicht erreicht. Hinsichtlich des **Wirkungspfades Boden-Mensch** kann der As-Prüfwert für die Nutzungsarten Kinderspielflächen (25 mg/kg) und Wohngebiete (40 mg/kg) überschritten werden. Lokal überschreiten die Cd-Gehalte im Oberboden 2 mg/kg, so dass der Cd-Prüfwert von 2 mg/kg für den Pfad Boden-Nutzpflanze in Haus- und Kleingärten nach BBodSchV zur Anwendung kommt.

4.3 Hauptelemente

Die Abbildungen 6.1 bis 6.4 zeigen die Verteilung der Hauptelemente in den einzelnen Bodenhorizonten.

Analog zu den Spurenelementen widerspiegeln sie in hohem Maße den Chemismus der Substrate (Hauptgesteinstypen). Dabei sind die Böden im Süden und Südosten des Untersuchungsgebietes (über Magmatiten und Metamorphiten) in der Regel mit höheren Al-, K-, Fe- und Mg-Gehalten ausgestattet als die Böden im Norden (über Geschiebelehmen und Sanden/Konglomeraten des Rotliegenden).

Die organischen Auflagehorizonte besitzen aufgrund ihrer Genese (>30 Masse-% organische Feinsubstanz) generell niedrige Gehalte an Hauptelementen. Bei den mineralischen Bodenhorizonten (>70 Masse-% mineralische Substanz) nehmen die Hauptelementgehalte vom

Ober- zum Unterboden zu, da durch Verwitterungsprozesse die Hauptelemente in der Regel aus den oberen Horizonten gelöst und weggeführt bzw. verlagert werden. Die festgestellten Elementkonzentrationen zeigen keine ungewöhnlichen Abweichungen vom normalen, substratspezifischen Elementhaushalt.

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.

Die Untersuchungsergebnisse des Bodenmessnetzes Zwickau ergaben keine Bestätigung des Verdachts, dass durch die Uranerzaufbereitung und Industrieanlagen der Stadt Zwickau großflächige Bodenkontaminationen mit Uran, Arsen und Schwermetallen im Untersuchungsgebiet erfolgten. Das Gehaltsniveau bewegt sich in einem Bereich, wie er auch auf analogen Standorten im Erzgebirge und in der Vorerzgebirgssenke anzutreffen ist (RANK et al., 1999).

Schwerpunkte möglicher Bodenbelastungen mit Arsen und Cadmium bilden die Auenbereiche der Zwickauer Mulde. Für die Nutzungsart Grünland konnte an 4 Standorten eine Überschreitung des Maßnahmenwertes von 50 mg/kg nachgewiesen werden. Bei einer sensiblen Nutzung dieser Bereiche durch Kleingärten bzw. Ackerbau sind weiterhin die Cadmium-Gehalte zu beachten (Gesamtgehalte, mobile Gehalte), die teilweise über den Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV liegen können.

Für den Gefährdungspfad Boden-Mensch ist im Ergebnis dieser Untersuchungen nur das Arsen relevant, weil bei den Nutzungsarten Kinderspielplatz und Wohngebiete die Prüfwerte nach BBodSchV überschritten werden. Letzteres stellt jedoch ein Problem für den gesamten erzgebirgischen Raum dar (RANK et al., 1999).

Weiterer Untersuchungsbedarf wird vor allem für den Bereich der Auenböden der Zwickauer Mulde und im unmittelbaren Bereich der industriellen Altstandorte im Stadtgebiet von Zwickau gesehen (As-, Cd-, Pb-, U-Gesamtgehalte, mobile Cd- Gehalte). Besondere Aufmerksamkeit ist dabei den Gebieten sensibler Nutzung schenken. Die Untersuchungen sind nach den Bestimmungen der BBodSchV durchzuführen.

6 Literatur

- BEUGE, P & ULIQUE, A. (1997): Stoffliche Belastungen von Auenböden. - Abschlußbericht des i. A. d. Sächs. Staatsmin. f. Umwelt u. Landesentwicklung geförderten Forsch.-vorhabens, TU Bergakademie Freiberg.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1999): Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).
- KARDEL, K.; RANK, G. & PÄLCHEN, W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1, Spurenelementgehalte in Gesteinen. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt f. Umwelt und Geologie, Radebeul.
- KARDEL, K.; SYMMANGK, R.; WEIDENSDÖRFER, H.; RANK, G.; PÄLCHEN, W. & RAUER, H. (2000): Bodenmessnetz Radebeul, Raster 1 km x 1 km. – Materialien zum Bodenschutz (CD-ROM), Sächsisches Landesamt f. Umwelt und Geologie, Dresden.
- KARDEL, K.; WEIDENSDÖRFER, H.; RANK, G. & SCHULZE, P. (2000): Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen, Bodenmessnetz Zittau, Raster 1 km x 1 km. – Dok.- u. Kurzbericht, Sächsisches Landesamt f. Umwelt und Geologie, Berichtsarchiv Freiberg.
- OSSENKOPF, P. & PÄLCHEN, W. (1992): Umweltmessnetze Freistaat Sachsen. Konzeption Bodenmessprogramm. - unveröff. Ber., Sächsisches Landesamt f. 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.; PÄLCHEN, W.; SYMMANGK, R. & WEIDENSDÖRFER, H. (1997): Bodenmessprogramm Freistaat Sachsen - Bodenmessnetz Ehrenfriedersdorf. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (1999): Richtlinien zur Bearbeitung von Altlastenmodellstandorten im Freistaat Sachsen. – unveröff. Erlass v. 21.01.1999, Dresden.
- SCHIERIG, J. (1998): Ergebnisse des Altlasten-Modellstandortprojektes Zwickau. - In: Informationshefte Dom St. Marien, 9, S. 24-25, Zwickau.
- THUSS, K.-H. (1985): Zinnober im Berggebäude Samuelis bei Hartenstein. – Fundgrube XXI. Jhrg., H. 1, S. 7-10.
- 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. – Endbericht FuE-Vorhaben UBA (Projekt-Nr. 297 71 010) Bundesanstalt f. Geowiss. u. Rohstoffe, Hannover, 179 S.
- WASTERNAK, J.; TISCHENDORF, G.; HÖSEL, G.; KUSCHKA, E.; BREITER, K.; CHRT, J.; KOMINEK, J. & STEMPROK, M. (1995): Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krusne hory, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt-Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt, Maßstab 1 : 100 000. - Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Bereich Boden u. Geologie Freiberg, Czech Geological Survey Praha.
- WENDLAND, A.; BARTH, A. & WIEMEIER, G. (1997): Regionale Verteilung des Arsens in den Rotliegendesedimenten Sachsens. - Abschlussbericht beak Consultants GmbH Freiberg i. A. d. Sächs. Staatsmin. f. Umwelt u. Landesentwicklung geförderten Forschungsvorhabens, Freiberg.

7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV (1999)

8 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Bodenmessnetze des Freistaates Sachsen
- Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte
- Abb. 3: Vereinfachte Bodenkarte
- Abb. 3a: Karte der Bodennutzung
- Abb. 4: Karte der Probenahmepunkte
- Abb. 5.1-1: pH- Wert in der organischen Auflage
- Abb. 5.1-2: pH- Wert im mineralischen Oberboden
- Abb. 5.1-3: pH- Wert im Unterboden
- Abb. 5.2-1: Arsen in der organischen Auflage (Totalgehalte)
- Abb. 5.2-2: Arsen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.2-3: Arsen im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.3-1: Cadmium in der organischen Auflage (Totalgehalte)
- Abb. 5.3-2: Cadmium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.3-3: Cadmium im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.4-1: Chrom in der organischen Auflage (Totalgehalte)
- Abb. 5.4-2: Chrom im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.4-3: Chrom im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.5-1: Kupfer in der organischen Auflage (Totalgehalte)
- Abb. 5.5-2: Kupfer im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.5-3: Kupfer im Unterboden (Totalgehalte)
- Abb. 5.6-1: Fluor in der organischen Auflage (Totalgehalte)
- Abb. 5.6-2: Fluor im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)

Abb. 5.6-3: Fluor im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 5.7-1: Quecksilber in der organischen Auflage (Königswasserauszug)
Abb. 5.7-2: Quecksilber im mineralischen Oberboden (Königswasserauszug)
Abb. 5.7-3: Quecksilber im Unterboden (Königswasserauszug)
Abb. 5.8-1: Mangan in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 5.8-2: Mangan im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 5.8-3: Mangan im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 5.9-1: Nickel in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 5.9-2: Nickel im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 5.9-3: Nickel im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 5.10-1: Blei in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 5.10-2: Blei im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 5.10-3: Blei im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 5.11-1: Uran in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 5.11-2: Uran im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 5.11-3: Uran im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 5.12-1: Zink in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 5.12-2: Zink im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 5.12-3: Zink im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.1-1: Aluminium in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 6.1-2: Aluminium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 6.1-3: Aluminium im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.2-1: Eisen in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 6.2-2: Eisen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 6.2-3: Eisen im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.3-1: Kalium in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 6.3-2: Kalium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 6.3-3: Kalium im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.4-1: Magnesium in der organischen Auflage (Totalgehalte)
Abb. 6.4-2: Magnesium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte)
Abb. 6.4-3: Magnesium 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	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	(AN)	10
Tl						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	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