

1 Bodenmeßprogramm des Freistaates Sachsen

Durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie wurde 1992 ein Untersuchungsprogramm für Böden konzipiert (OSSENKOPF & PÄLCHEN, 1992).

Ziel des Bodenmeßprogramms war eine flächendeckende Beurteilung der Bodenbelastung im Freistaat Sachsen mit Arsen und Schwermetallen und eine landesweite Bewertung der Schadstoffe nach einheitlichen Kriterien. Letzteres war durch das Vorhandensein vieler untereinander sehr verschiedener Untersuchungsergebnisse (Analysenmethoden, Probenahme, Korngröße) bis dahin nur eingeschränkt möglich.

Das Bodenmeßprogramm beinhaltet neben der Recherche vorhandener stofflich relevanter Daten vor allem die Erhebung von Daten in Bodenmeßnetzen im Raster 4 km x 4 km, im Raster 1 km x 1 km (Radebeul, Ehrenfriedersdorf, Zwiczkau, Zittau, Borna), ergänzende Schurfuntersuchungen in den Meßgebieten des Rasters 1 km x 1 km und die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (Abb. 1). Die Untersuchungsgebiete der 1 km x 1 km-Raster-Meßnetze wurden von den Staatlichen Umweltfachämtern ausgewählt und stellen die vermutlichen Schwerpunkte der stofflichen Bodenbelastung in ihrem jeweiligen Zuständigkeitsgebiet dar. Ergänzend dazu erfolgte nachträglich die Konzipierung von Sondermeßnetzen in Bergbaubelastungsgebieten (Freiberg, Ehrenfriedersdorf, Schneeberg, Johanngeorgenstadt) im Raster 1 km x 1 km und dichter.

Da sich die Problematik der Belastung von Auenböden im Rahmen dieser Rasterbeprobung nicht zufriedenstellend lösen ließ, wurde in Zusammenarbeit mit der Bergakademie Freiberg ein Forschungsthema zu dieser Thematik bearbeitet (BEUGE & ULIQUE, 1997).

Derzeit ist die Bearbeitung und Auswertung des für Sachsen flächendeckenden Meßnetzes 4 km x 4 km (RANK et al., 1999) und des Bodenmeßnetzes 1 km x 1 km Ehrenfriedersdorf (RANK et al., 1997) abgeschlossen.

2 Allgemeiner Überblick über das Untersuchungsgebiet

2.1 Geographische Lage

Das Bodenmeßnetz Radebeul liegt fast vollständig auf dem Blatt Coswig (4847) der topographischen Karte im Maßstab 1 : 25 000 und wird im Süden durch einen schmalen Streifen des Blattes Wilsdruff (4947) ergänzt.

Hinsichtlich der naturräumlichen Gliederung wird das Unter-

suchungsgebiet maßgeblich durch die Dresdener Elbtalweitung bestimmt. Daran schließt sich im Nordwesten eine morphologisch steil ansteigende Landstufe an, die zum Gebiet der Westlausitzer Platte gehört. Letztere zeichnet sich morphologisch durch engen Wechsel zwischen Kleinkuppen, Flachrücken und Hohlformen aus. Im Südwesten greift ein Ausläufer des Mittelsächsischen Lößhügellandes auf das Untersuchungsgebiet über, im Nordwesten wird es von der Randlage der Großenhainer Pflege begrenzt. Die Elbe durchfließt das Untersuchungsgebiet von Südosten nach Westen, wo sie sich in das Spargebirge eingeschnitten hat. Im Gebiet der Elbtalweitung herrscht, durch die morphologische Absenkung bedingt, ein mildes Klima. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt zwischen 640 und 680 mm, das Jahresmittel der Lufttemperatur beträgt auf den Talterrassen +9 °C, im städtischen Bebauungsbereich +10 °C und sinkt in den Randlagen auf +8,5 °C. Die Unterhänge zwischen Pillnitz und Weinböhla gehören expositionsbedingt zu den wärmsten Bereichen Sachsens überhaupt. Klimatisch besonders bemerkenswert sind die relativ hohen Südostwindquoten (BERNHARDT et al., 1986).

2.2 Geologie und Mineralisationen

Die Geologie der Dresdener Elbtalweitung wird durch die Auensedimente und die pleistozänen Terrassen der Elbe bestimmt (Abb. 2).

An die rezente Aue der Elbe mit lehmig-schluffigen Hochflutsedimenten, die z. T. durch Kies und Sand unterlagert werden, schließt sich nach nordwestlicher Richtung zwischen Radebeul und Gröbern die weichseleiszeitliche tiefere Niederterrasse mit Tallehm und unterlagernden Kiesen und Sanden an. Die Niederterrasse liegt ca. 4 bis 6 m höher als die rezente Aue. An die Niederterrasse grenzen im Nordwesten des Kartenblattes Plänermergel und –sandsteine der Oberkreide, auf die bei Ockrilla der Sandlöß oder der Lößsand des Großenhainer Lößhügellandes übergreift. Nach östlicher Richtung folgen auf die höhere Niederterrasse die saaleiszeitlichen Heidesande, die von der Westlausitzer Platte herabreichen.

Das Grundgebirge des Gebietes wird aus den Granodioriten, Monzoniten und dem Biotitgranit des Meißner Massivs gebildet. Diese Gesteine werden von Gängen aus jüngerem Mikrogranit, Rhyolith und Andesit durchsetzt. Als älteste Gesteine stehen der proterozoische Granodioritgneis von Großenhain und der Orthogneis oberflächlich an. Die Gesteine des Grundgebirges werden in den flachen Geländewannen von pleistozänen Lockersedimenten (umgelagerte Heidesande, äolische Sande, Moränenmaterial, Schmelzwassersedimente) bedeckt, aus denen sie als Kleinkuppen hervorragen. Die Grundgebirgsgesteine treten auch im südwestlichen Kartenteil auf und sind hier entlang der Kerbtäler der Elbenebenflüsse aufgeschlossen. Der auf der Hochfläche

anstehende Löß erreicht Mächtigkeiten bis zu 8 m. Zwischen den Tälern fällt das Lößplateau des mittelsächsischen Lößhügellandes auf Elbniveau ab.

Das Tertiär in Form von Sanden, Kiesen, Schluffen und Tonen des Miozäns ist nur noch in kleinen isolierten Vorkommen auf der Westlausitzer Platte und bei Ockrilla erhalten.

Mineralisationen treten im Untersuchungsgebiet im Biotitgranodiorit bei Scharfenberg und im Spaargebirge auf. Im Monzonit sind lokale Vererzungen von Cu- und Fe-Sulfiden vorhanden. Nach KUSCHKA (1997) gehört die Hauptphase der Mineralisation der spätvariszischen Quarz-Sulfid-Folengruppe und der Karbonate-Sulfid-Sulfarsenid-Folengruppe an. Untergeordnet kam es postvariszisch zur Ablagerung der Baryt-Fluorit-Folgen-Gruppe und zu Umlagerungen der Mineralisationen. Die wichtigsten Erzminerale im Scharfenberger Revier sind Sphalerit, Galenit, Kupfer- und Eisensulfide sowie Tetraedrit. Seltener treten Pyrrargyrit, Argentit und gediegen Silber auf. Die Erzgänge wurden in mehreren Grubenbauen bis 1899 abgebaut. Von 1563 bis 1805 lieferte der Scharfenberger Bergbau 36,5 t Silber (WAGENBRETH & WÄCHTLER, 1988).

2.3 Bodengesellschaften und Bodennutzung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der Bodenregion der Löß- und Sandlößlandschaften (Abb. 1). Durch seine Lage im Grenzraum mehrerer Bodenlandschaften weist es ein sehr wechselhaftes Bodenformeninventar auf (Abb. 3 und Tab. 1). Der Verlauf des rezenten Elbtales bildet die Trennlinie zwischen zwei, in ihrer Boden- und Substratentwicklung sehr unterschiedlichen Räumen.

Der linkselbische Bereich wird von einer Lößlandschaft eingenommen, die als östliche, das Elbtal begleitende Fortsetzung des Mittelsächsischen Lößhügellandes anzusehen ist. Innerhalb dieser Landschaft dominieren Parabraunerden unterschiedlichen Ausprägungsgrades und unterschiedlicher Erosionsstadien aus tiefgründig entkalkten Löß. Sie erreichen in der Umgebung von Naustadt sehr große Entwicklungstiefen verbunden mit einer hohen Lessivierungsintensität und leiten damit zur Fahlerdeentwicklung über. Mit ihnen sind in Abhängigkeit von Reliefposition sowie Art und Teufenlage der unterlagernden Gesteine (permokarbone Magmatite, quartäre Lockergesteine, Gneise, kretazische Sedimente) Braunerden und Pseudogleye aus Löß vergesellschaftet. Über oberflächennah anstehenden Untergrundgesteinen konnten sich teilweise sehr tiefgründige quartäre Deckschichten ausbilden, die im pedogen veränderten Bereich ebenfalls lößbestimmt bis stark lößbeeinflusst sind. Das Gelände wird von einer Reihe, ausschließlich zur Elbe entwässernder Kerbsohlentäler zerschnitten. Ihre Talanfängsmulden sind mit Kolluviallöß ausgefüllt, auf welchem sich wechselnd grundwasserbeeinflusste Kolluvisole entwi-

ckeln. Innerhalb der Talsohlen dominieren Gley-Vega und Vega aus Fluvi-Schluff und Schwemmlöß über tiefem Auenkiessand. Die überwiegend steilen Talflanken werden von Braunerden und Pseudogleyen aus lößreichen quartären Deckschichten über Verwitterungsprodukten saurer bis intermediärer Magmatite und Metamorphite eingenommen. Ähnliche, nur durch das häufigere Auftreten von Hangpseudogleyen variierte Verhältnisse zeigt auch der Steilhang zum Elbtal. Die Boden- und Substratverhältnisse wechseln dabei kleinflächig. Als Besonderheit können (z. B. im Saubachtal) grobbodenreiche Oberlagen angesehen werden. Besonders basenbegünstigte Standorte konnten sich über den Plänerarealen zwischen Niederwartha und Wildberg ausbilden. Einer Sonderentwicklung unterliegen auch die Böden, die sich aus Grobbergen und Aufbereitungsrückständen der Montanindustrie im Raum Scharfenberg entwickeln. Das gesamte Gebiet wird sehr großflächig ackerbaulich genutzt und weist dadurch eine hohe Erosionsanfälligkeit auf. In den Hochflächenbereichen um Naustadt wird Obstbau betrieben. Wald und Grünland sind auf die Kerbsohlentalbereiche zurückgedrängt (Abb. 4).

Ähnliche Boden- und Nutzungsverhältnisse wie der eben beschriebene Raum weist auch das rechtselbisch gelegene, zum Westlausitzer Lößhügelland gehörende Gebiet um Wahnsdorf auf.

Der Zentralteil des Untersuchungsgebietes wird vom Nordwesten der Dresdener Elbtalweitung gebildet. In dem von der rezenten Elbe beherrschten Anteil dominieren junge, in wechselndem Maße grundwasserbeeinflusste Auenböden aus feinschichtigen Hochflutablagerungen schwankender Mächtigkeit über Auenkiessand. Auf den Niederterrassensedimenten sind teilweise stauwasserbeeinflusste Böden verbreitet, die sich aus reliktschen Auenböden aus Auenschluff über Auenkieslehm entwickeln. Die Substratverbreitung wird dabei durch ein Mäandersystem der Altelbe vorgegeben und ist durch Auenlehm und Auensand wechselnder Mächtigkeit über Auenkiessand und -kies bestimmt. Eine Sonderstellung nimmt die Sandterrasse von Weinböhl ein. An ihrem Westrand sind Gleye aus Sand der höheren Niederterrasse verbreitet, die mit dem Ansteigen des Geländes in Braunerden und schließlich in Podsol-Braunerden und Podsole aus Heidesand übergehen. Im Bereich der Nassau ist ein kompliziertes Verzahnungssystem aus reliktschen lehmigen bis sandigen Auensedimenten mit Umlagerungstonen und jungen (holozänen) limnischen und fluviatilen Sedimenten entstanden, auf denen in Abhängigkeit von Substratentwicklung und Grundwasserflurabstand Gley, Pseudogley, Stagnogley und Vega vorkommen. Ökologisch besonders interessante Standorte findet man über den Plänermergeln an den Rändern der Dresdener Elbtalweitung. Hier treten je nach Verwitterungs- und Entkalkungszustand der Substrate Rendzinen und Braunerden aus Kryolehm und -ton über Verwitterungsschuttton aus Plänermergel auf. In tertiär vorverwitterten Bereichen (sogenannten fossilen „Braun- und Grauto-

nen“) überwiegen Pelosole und staunässegeprägte Böden.

Der gesamte Bereich der Dresdener Elbtalweitung ist durch anthropogene Veränderungen (Siedlungs-, Gewerbe- und Industrie­flächen) stark geprägt. Während die Böden auf den rezenten Hochflutablagerungen meist als Dauergrünland genutzt werden, ist auf Böden aus Tallehm der Niederterrasse der Obst-, Gemüse- und Ackerbau weit verbreitet. Die Sandterrasse von Weinböhlen erfuh durch intensive gärtnerische Nutzung (häufig auch Spargelkulturen) eine tiefgründige Veränderung. Sie ist heute durch das verstärkte Auftreten von Hortisolen und Rigosolen gekennzeichnet. Die klimatisch begünstigten steilen Südhänge werden schon seit mehr als 700 Jahren vom Weinbau genutzt. Im Gegensatz dazu zeigen die Nordhänge häufig naturnahe Laubwaldgesellschaften.

Am unmittelbaren Nordwestrand des Untersuchungsgebietes erreicht ein schmaler Sandlößstreifen als Ausläufer des Großenhainer Lößhügellandes den Untersuchungsbereich. Kryogen überprägter Sandlöß, Lösssand und Flugsand überdeckt hier in wechselnder (meist 0,5 - 2,0 m) Mächtigkeit glazifluviatile und Moränenkiessande und Kiese sowie lokal Verwitterungsprodukte aus Magmatiten des Meißner Massivs. Die Bodenverhältnisse werden entsprechend durch Braunerden, Parabraunerden und Pseudogleye bestimmt, die überwiegend ackerbaulich genutzt werden.

Der gesamte Nord- und Nordostbereich des untersuchten Gebietes wird vom Friedewald eingenommen. Dieses Gebiet wird dem Westlausitzer Lößhügelland zugeordnet, nimmt aber durch einen engräumigen Wechsel zwischen Kleinkuppen und Hohlformen und dem weitgehenden Fehlen von Löß innerhalb dieser Bodenlandschaft eine Sonderstellung ein. Es wird deshalb innerhalb der Naturräume Sachsens als eigene Mesochore – Moritzburg und der Friedewald - geführt (BERNHARDT et al., 1986). Charakteristisch ist ein engräumiger Wechsel flach- bis mittelgründiger Braunerden aus Verwitterungs­substraten der unterlagernden Festgesteine mit Podsol-Braunerden und Podsolen aus glazifluviatilen und Flugsanden. In Richtung der Hohlformen gehen sie in Pseudogleye und Gleye über. Im Zentralbereich der Hohlformen und in der Umgebung der Teiche sind oft intensiv vernäßte Mineralböden (z. B. Stagnogley) aus sandig lehmigen Umlagerungs- und Schwemmsubstraten anzutreffen. Sie weisen zum Teil eine geringmächtige Übermuddung bzw. Vertorfung (überwiegend <3 dm) auf. Der Nordbereich wird durch das verstärkte Auftreten von Braunerde-Podsol aus Geschiebedecksand charakterisiert und leitet damit zur nordöstlich anschließenden Bodenlandschaft „Königsbrücker Heide“ über. Die wechselhaften morphologischen und Bodenverhältnisse, in Verbindung mit der Bewahrung der Jagdgrundlage des kursächsischen Hofes, ermöglichten den Erhalt dieses großen zusammenhängenden Waldgebietes. Früher vorhandene Siedlungsstrukturen (z. B. Siedlung Kreyern) fielen schon im 16. Jahrhundert wüst. Die Anlage der Kunstteiche

für die Fischzucht beeinflusste die Böden nachhaltig, hat aber einen relativ geringen Einfluß auf das bodenrelevante Hydrosystem.

2.4 Geogene und anthropogene Einflüsse auf die Elementverteilung in Böden

Die Grundlage für die geogene Elementausstattung der Böden liefern die Substrate aus den oberflächlich anstehenden Fest- und Lockergesteinen des Untersuchungsgebietes sowie zusätzlich auftretende Mineralisationen. In Tab. 2 sind die mittleren Spurenelementgehalte vorliegender Gesteinsanalysen im Verbreitungsgebiet des Bodenmeßnetzes dargestellt.

Die SiO₂-reichen Sande und Kiese des Holozäns und Pleistozäns sind an weiteren Haupt- und Spurenelementen verarmt. Die sauren bis intermediären Magmatite liefern ebenfalls keine nennenswerten Spurenelementanreicherungen. Die Monzonite haben gegenüber den Granodioriten, bedingt durch ihren Mineralbestand, höhere Eisen-, Magnesium- und Aluminiumgehalte. In den Tal- und Auenlehmen, im Löß- und Sandlöß sowie in den Plänermergeln bedingen die höheren Gehalte an pelitischem Korn einen höheren Anteil an Arsen und Schwermetallen. Pedogenetische Prozesse sowie Überlagerungen verschiedener Substrate (z. B. im Bereich der Westlausitzer Platte) führen zu einer Vermischung und Umverteilung des primären Elementangebotes.

Die Wirkung der pedogenen Prozesse im Hinblick auf die Bewertung von Gefährdungspfaden ist i. d. R. als gering einzuschätzen. Unter Forst können die niedrigen pH-Werte und der hohe Anteil an organischer Substanz in den Auflagehorizonten langfristig zu Elementan- und -abreicherungen führen.

In den rezenten Auen und Überflutungsgebieten steigen die Gehalte der Elemente durch den anthropogenen Eintrag über die Elbe z. T. extrem an. Nach BEUGE & ULIQUE (1997) nimmt die Belastung der Auenböden mit Schadstoffen innerhalb des Profils mit der Teufe und beim Vergleich verschiedener Profile mit zunehmender Entfernung vom Flußlauf stetig ab und pendelt sich in einer bestimmten Teufe bzw. Entfernung vom Fluß auf den Hintergrundgehalt ein.

Infolge der Mineralisationsprozesse und den daran gebundenen Bergbau um Scharfenberg sind in diesem Gebiet lokal erhöhte Arsen-, Zink-, Blei-, Kupfer- und Eisengehalte in den Böden anzutreffen.

Die dichte Besiedlung des Elbtales zwischen Weinböhlen, Coswig und Radebeul, verbunden mit einer starken Industrialisierung führte und führt zu einem ubiquitären Eintrag von Haupt- und Spurenelementen über den Luft- und Wasserpfad (Einleitung von Schadstoffen in die Elbe).

Bei Immissionsmessungen im Oberen Elbtal wurden 1994/95 über das Raster von 2 km x 2 km (in Ballungsgebieten 1 km x 1 km) Immissions- und Emissionskennziffern für typische Luftschadstoffe ermittelt. Die flächendeckenden Immissionsmessungen geben für das Obere Elbtal folgenden Mittelwert an (UMEG, 1995):

für Pb 24 µg/(m²-d)
 für Cd 0,5 µg/(m²-d)
 für As 3,4 µg/(m²-d)
 für Cu 26 µg/(m²-d)
 für Zn 132 µg/(m²-d).

Auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen können über Dünger, Komposte und Klärschlämme zusätzlich Schwermetalle in die Böden eingetragen werden.

3 Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Feldarbeiten und Dokumentation

Die Konzipierung des Bodenmeßnetzes Radebeul sowie die Ausschreibung der Probenahme und deren fachliche Koordination erfolgte durch das StUFA Radebeul (Bearbeiter: Dr. H. RAUER).

Die Probenahme im Raster 1 km x 1 km wurde von 06/1993 bis 09/1993 durch die Firma Umweltwirtschaft GmbH Freiberg durchgeführt (Abb. 5).

Die Lage der Probenahmepunkte wird durch den Hoch- und Rechtswert im Gauß-Krüger-Koordinatensystem angegeben, die Entfernung der Meßstellen untereinander beträgt i. d. R. 1 000 m. Zur Charakterisierung der Auenböden der Elbaue wurde ein dichter Probenahmeabstand entlang der Flußaue gewählt.

Die Beprobung der Bodenhorizonte erfolgte an einem mittels Spaten angelegtem Grabloch. Es wurde jeweils eine horizontbezogene Sammelprobe über die Gesamtmächtigkeit entnommen. Mineralische Oberbodenhorizonte mit Mächtigkeiten >40 cm wurden mit 2 Proben belegt, Unterbodenhorizonte >30 cm wurden nur bis in die Tiefe von 30 cm beprobt. Die Probemenge betrug für mineralische Bodenhorizonte ca. 1 kg, für organische Auflagehorizonte ca. 300 bis 500 g.

Anhand von Sondierbohrungen und der Aufgrabung wurde für jede Meßstelle ein Formblatt mit der bodenkundlichen Profilbeschreibung aufgenommen. Die horizontbezogene Probenahme umfaßt 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.

Insgesamt wurden an 148 Probenahmestellen 363 Proben entnommen. In Ergänzung zum Bodenmeßnetz wurde vom StUFA Radebeul eine spezielle Untersuchung der Elbaue im Rahmen einer Diplomarbeit vorgenommen (MÜLLER, 1995; MÜLLER & RAUER, 1997).

3.2 Laborarbeiten

Die Probenvorbereitung und Analytik erfolgte von 05/1994 bis 01/1995 im Umweltlabor des LfUG (ab 1994 Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, UBG) in Neusörnewitz im Bereich Anorganik und Bodenphysik (Analytiker: C. Kawelke, O. Unger, A. Wagner, S. Goldstein). Die Bearbeitung der Bodenproben für Probenvorbereitung und Analytik umfaßte folgende Schritte:

1. Probentrocknung bei Zimmertemperatur
2. Absieben bei 2 mm
3. Bestimmung Anteile Feinboden/Grobboden
4. Bestimmung pH-Wert (0,1 M KCl)
5. Zerkleinerung der Probe in Achatmühle <0,1 mm
6. Aufschluß für chemische Analyse
 - Metalle: Totalaufschluß 4 ml HClO₄ + 6 ml HNO₃ + 20 ml HF, nach RUPPERT (1987)
 - As: modifizierter Totalaufschluß
 - Hg: 9 ml HNO₃ + 3 ml HCl („umgekehrter“ Königswasseraufschluß)
 - B, Be, Bi, Mo, Tl, U, V, W: Säureaufschluß 12 ml HNO₃ + 17 ml HF in WALDNER-Apparatur
7. Elementbestimmung Metalle
 - AAS-Flamme: Pb, Cu, Zn, Ni, Ca, Mg, Fe, Al, Mn
 - AAS-Graphitrohr: Cd, Cr
 - AAS-Hydridtechnik: As
 - AAS-Kaltdampftechnik: Hg
 - AES-Flamme: K, Na
 - ICP-MS: B, Be, Bi, Mo, Tl, U, V, W
8. Elementbestimmung Nichtmetalle
 - C_{org}: Verbrennung im Sauerstoffstrom
 - N_{ges}: nach KJELDAHL
 - Fluorid: ionensensitive Elektrode
 - P_{ges}: photometrisch

Die Bestimmungsgrenzen der einzelnen Elemente sind in den Kartendarstellungen (Abb. 6.2-1 bis Abb. 7.7-3) aufgeführt.

3.3 Auswertungen und Kartendarstellungen

Einen ersten Überblick über die Elementgehalte in den Bodenhorizonten liefert die in den jeweiligen Elementkarten enthaltene deskriptive Statistik (Abb. 6.1-1 bis Abb. 7.7-3).

In den Karten sind die statistischen Parameter der Probenahmestellen getrennt nach ihrer Horizontierung dargestellt. Lagen an einer Meßstelle mehrere Ober- bzw. Unterbodenproben vor, wurden sie über ihre Mächtigkeit gemittelt. Diese allgemeine Statistik und das Histogramm bilden die Grundlage für die Kartendarstellung. In Abhängigkeit von der Art der Verteilung (Normal- bzw. Lognormalverteilung) wurde für jedes Element die Klassenteilung im Auflage-, Oberboden- und Unterbodenhorizont bestimmt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Karten untereinander wurde pro Element eine Legende für alle 3 Horizonte gewählt. Nach Möglichkeit liegen die Medianwerte des Ober- und Unterbodens in der mittleren Klasse.

Zur Präzisierung der statistischen Kennwerte in den Böden wurde eine weitere Unterteilung des Gesamtdatenkollektivs nach Nutzung und Leitbodengesellschaft vorgenommen und von diesen Teilkollektiven ebenfalls ein mittlerer Elementgehalt (Median) berechnet (Tab. 3). Infolge der Unterteilung des Datenkollektivs kommt es hauptsächlich in den Oberbodenhorizonten in einigen Fällen zu einer drastischen Verkleinerung der Stichprobenzahl (n) in den Teildatenkollektiven. Da weiterhin nur 3 Nutzungsarten (Acker, Grünland, Forst) ausgewiesen werden, können die Stichprobenzahlen im Ober- und Unterboden einer Leitbodengesellschaft stark voneinander abweichen. Davon sind besonders die anthropogenen Böden betroffen, die häufig nicht den o. g. Nutzungsarten unterliegen. Die in Tab. 3 berechneten Werte sind daher statistisch nicht immer gesichert.

Das Gesamtdatenkollektiv wurde getrennt nach Ober- und Unterboden einer Clusteranalyse unterzogen (Abb. 8.1., Abb. 8.2). Die Probenanzahl der Auflagehorizonte war dafür nicht ausreichend.

Die geochemischen Elementkarten wurden mit dem GRID-Modul des GIS ARC/INFO erzeugt und mit ARC/VIEW dargestellt. Vor Einladen in ARC/INFO erfolgte für alle lognormal verteilten Elemente eine Logarithmierung mit dem natürlichen Logarithmus, um die für die Interpolationsverfahren geforderte Normalverteilung zu erreichen. Die Interpolation mit der Inversdistanzgewichtung erzeugte eine Rasterkarte mit einer Zellgröße von 250 m x 250 m bei einem Einwirkradius der Interpolation von 700 m und der Einbeziehung von 9 Meßpunkten. Wegen besonderer Beachtung der Auenproblematik wurde in der Elbaue gesondert vom restlichen Untersuchungsgebiet interpoliert. Nach der Interpolation erfolgte die Rücktransformation der einzelnen Zellinhalte des Rasters mit der Exponentialfunktion, um sie auf der untransformierten Skala der Meßwerte darstellen zu können.

nen.

4 Ergebnisse und deren Bewertung aus umweltrelevanter Sicht

4.1 Bewertungsgrundlagen

Verbindliche gesetzliche Regelungen zur Arsen- und Schwermetallbelastung von Böden existierten bis 1999 nur in Baden-Württemberg (UMBW, 1993). Für die Schutzgüter Mensch, Pflanze, Bodenorganismen und Wasser wurden Prüfwerte für Gesamtgehalte und zusätzlich für die Schutzgüter Pflanze, Bodenorganismen und Wasser Prüfwerte für die mobilen Gehalte festgelegt (Tab. 4).

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) tritt 1999 in Kraft.

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 dienten die bei Redaktionsschluß vorliegenden Wertekategorien. Nach Inkraftsetzung der BBodSchV ist ggf. eine diesbezügliche Prüfung und Harmonisierung erforderlich.

Die vorgeschlagenen Gesetzesregelungen zur Gefährdungsabschätzung beruhen auf Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten (Tab. 5 bis Tab. 7). Die Grundlage für die Abfassung der BBodSchV hinsichtlich des Gefährdungspfades Boden → Pflanze bildete der Bericht der ad-hoc-AG „Schwermetalltransfer Boden/ Pflanze“ der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 1997; DELSCHEN & RÜCK, 1997).

Generell ist zu beachten, daß die anorganischen Komponenten, mit Ausnahme des Quecksilbers, in dieser Arbeit als Totalgehalte bestimmt wurden, um sich einen Überblick über die tatsächlich vorliegenden Schwermetallgehalte im Untersuchungsgebiet zu verschaffen. Bei Bedarf können in späteren Bearbeitungsschritten lithogene/pedogene Elementanteile von anthropogenen Anteilen besser getrennt werden. Beim Vergleich der Totalgehalte mit den Gesamtgehalten (des Königswasseraufschlusses) o. g. Prüf- und Maßnahmenwerte ist zu beachten, daß die Totalgehalte einer Probe in der Regel über den Gesamtgehalten derselben Probe liegen. Im Rahmen des Entwurfes des untergesetzlichen Regelwerkes (E-BodSchV) zum BBodSchG (BMU, 1997a; BMU 1997b) wurden zur Umrechnung der Totalgehalte in Gesamtgehalte (Königswasseraufschluß) folgende vorläufige Umrechnungs-

faktoren vorgeschlagen:

Cd, Zn, Ni, Pb, Cu: Faktor 0,8
 As: Faktor 0,7
 Cr: Faktor 0,5.

4.2 pH-Wert und Spurenelemente

Die Bodenazidität ist eine wichtige Kenngröße für die Beurteilung von Elementgehalten in Böden, da sie die chemischen und biologischen Bodeneigenschaften bestimmt. Sie wirkt u. a. auf die Verfügbarkeit von anorganischen Nähr- und Schadstoffen und deren Transfer in andere Umweltmedien (Wasser, Pflanze).

Die Abbildungen 6.1-1 bis 6.1-3 zeigen sehr niedrige pH-Werte in den organischen Auflagehorizonten, Ober- und Unterböden im Forst. Der Medianwert (P50) der Oh-Horizonte liegt bei 3,7. Die nur wenig höher liegenden pH-Werte im mineralischen Oberboden und Unterboden bestätigt die Tendenz der zunehmenden tiefgründigen Versauerung der Waldböden, die mit erheblichen Verlusten von Nährstoffkationen verbunden ist (SML, 1995). Die Forststandorte über den mäßig basenreichen bzw. basenarmen Verwitterungsböden aus Gesteinen des Meißner Massivs verstärken durch ihre primäre Basenausstattung zusätzlich die Versauerung.

Die Ackerstandorte haben bedingt durch die Kalkung einerseits und andererseits durch ihre Zugehörigkeit zu den Leitbodengesellschaften aus Löß und Sandlöß deutlich höhere pH-Werte. Die Abb. 4 zeigt die gute Übereinstimmung der basenreichen Substrate (Löß, Sandlöß, Plänmergel) mit der Nutzung als Ackerstandort.

Der Bundesverband Boden (BVB, 1999) gibt für den Pfad Boden → Pflanze einen Prüfwert für den pH-Wert von Waldböden an. Dieser beträgt für humusfreie Horizonte unterhalb 5 dm Bodentiefe in 1 M KCl-Suspension 4,0 und in 0,01 M CaCl₂-Suspension 4,2.

Arsen (As)

Dem toxisch wirkenden Spurenelement Arsen kommt wegen seiner häufig großflächigeren Verbreitung in Böden eine große Bedeutung zu. Die durchschnittlichen Gehalte in unbelasteten Böden werden von EIKMANN et al. (1991) mit <20 mg/kg Arsen angegeben.

Die Arsengehalte des Untersuchungsgebietes in der organischen Auflage, im Ober- und Unterboden sind in den Abb. 6.2-1 bis 6.2-3 dargestellt.

Generell bewegen sich die Mediangehalte für Arsen in den meisten Leitbodengesellschaften auf niedrigem Niveau und überschreiten selten 15 mg/kg (Tab. 3). Im Forst ist Arsen in den organischen Auflagen gegenüber den mineralischen Horizonten häufig angereichert. Die Anreicherung erfolgt durch anthropogenen Eintrag sowie die Sorptionsfähigkeit der organischen Substanz. Immissionsmessungen im Oberen Elbtal in den Jahren 1994 und 1995 (UMEG, 1995) geben für das Untersuchungsgebiet durchschnittliche Depositionsraten von 2 - 4 µg/(m²·d) Arsen im Staubniederschlag an.

As-Gehalte zwischen 16 und 32 mg/kg treten flächenhaft in Böden aus pelitreichen Substraten (Tallehm, Umlagerungston) im Nordwesten der Dresdener Elbtalweitung auf. Die größere Anomalie zwischen Zaschendorf, Weinböhl und Brockwitz ist auch im Unterboden noch deutlich erkennbar und wird durch die Sande der höheren Niederterrasse begrenzt.

Die Elbhänge zwischen Zaschendorf und Sörnwitz werden für Obst- und Weinbau genutzt (Abb. 4). Durch die Anwendung von Spritzmitteln wurde Arsen vermutlich häufig anthropogen eingetragen, da geogen verursachte erhöhte Arsengehalte über dem Biotitgranodiorit des Spaargebirges nahezu auszuschließen sind.

Die relativ hohe punktförmige As-Anomalie westlich des Dippelsdorfer Teiches läßt sich geologisch bzw. bodenkundlich nicht einordnen. Da an diesem Meßpunkt gleichzeitig Maxima der Elemente Cadmium, Kupfer, Fluor, Eisen und Magnesium vorliegen, kann man auf eine komplexe anthropogene Belastung der Probe schließen.

Die höchsten As-Gehalte treten in den Böden der rezenten Elbaue auf. Der mittlere Gehalt beträgt dort im Oberboden unter Grünland und im Unterboden 44 mg/kg (Tab. 3). Die Gehalte in den Auenböden sind sowohl auf die geochemische Situation in den Liefergebieten (Müglitz, Mineralisationen des Osterzgebirges) als auch auf anthropogene Verunreinigungen der Elbe zurückzuführen (Dresden). BEUGE & ULIQUE (1997) geben in einer Proben-traverse am Elbufer bei Coswig ebenfalls Arsengehalte zwischen 30 und 60 mg/kg in den Auenböden der unmittelbaren Elbnähe an. Nach MÜLLER (1995) treten rechtseibisch zwischen Schmilka und Dresden Arsenkonzentrationen zwischen 10 und 60 mg/kg auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Probenahmetiefen von 0 bis 10 cm und von 10 bis 30 cm bestehen nicht.

Durch die unterhalb der Ortslage Scharfenberg stark ansteigenden Arsengehalte in der Elbaue wird der Einfluß des Bergbaureviers Scharfenberg (Einleitung belasteter Wässer, Austrag von Aufbereitungsrückständen) deutlich. Auch in den Auflagehorizonten unter Wald treten hier höhere As-Gehalte auf, die durch Abwehungen von Halden verursacht werden.

Im Hinblick auf die Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Böden läßt sich feststellen, daß nur in den Böden der rezenten Elbaue, die z. T. als Dauergrünland genutzt werden, der Maßnahmenwert zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Boden → Pflanze von 50 mg/kg (Tab. 7) in Einzelfällen überschritten wird.

Die Prüfwerte der BBodSchV für die direkte Aufnahme von Schadstoffen betragen auf Kinderspielflächen 25 mg/kg As und in Wohngebieten 50 mg/kg (Tab. 6). Aussagen dazu sind aufgrund der zu geringen Probenahmedichte nicht möglich; i. d. R. können Überschreitungen dieser Prüfwerte aber ausgeschlossen werden.

Bor (B)

Bor ist für Pflanzen ein essentielles Spurenelement. In höheren Konzentrationen wirkt es in Böden und Gewässern phytotoxisch. Der Borgehalt von Böden beträgt durchschnittlich 5 – 80 mg/kg, wobei sandreiche Böden in der Regel niedrigere Gehalte als ton- und humusreiche Böden aufweisen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Ausgewählte Gesteine des Untersuchungsgebietes haben B-Gehalte zwischen 21 und 55 mg/kg (Tab. 2).

Die Borgehalte in den organischen Auflagehorizonten (Abb. 6.3-1) sind gegenüber den Gehalten in den mineralischen Oberböden unter Forst niedriger. Bei den Ober- und Unterböden (Abb. 6.3-2, Abb. 6.3-3) zeichnet sich eine deutliche Differenzierung der B-Gehalte nach den Substraten ab. Die Böden aus sandigen Substraten und aus Verwitterungssubstraten über sauren bis intermediären Festgesteinen haben meist Borgehalte <30 mg/kg. In den Böden aus bindigeren Substraten steigen die Gehalte dagegen deutlich an (Tab. 3).

Die Böden aus Plänermergelersatz, Löß, den reliktschen und rezenten Auensedimenten haben in den Oberböden unter Acker- und Grünlandnutzung und in den Unterböden meist Borgehalte >40 mg/kg. In den Böden der Elbaue kann Bor zusätzlich durch die Einleitung B-haltiger Abwässer eingetragen worden sein.

Vergleicht man die Elementkarten der Unterbodenhorizonte miteinander, ergeben sich Übereinstimmungen bei den Elementen Bor, Eisen, Magnesium und Vanadium. Diese Übereinstimmung resultiert aus der Fixierung der o. g. Elemente an Tonminerale, Eisen- und Aluminiumhydroxide beim Verwitterungsprozeß.

EIKMANN & KLOKE (1993) geben für Kinderspielplätze einen Prüfwert von 25 mg/kg und für Haus- und Kleingärten von 50 mg/kg B an.

Beryllium (Be)

Das Element Beryllium gilt für Organismen als nicht essentielles, toxisches Element. Unbelastete Böden haben Be-Gehalte zwischen 0,1 und 5 mg/kg (STREIT, 1991).

Die Be-Gehalte in ausgewählten Gesteinen des Untersuchungsgebietes betragen 1,7 bis 4,5 mg/kg (Tab. 2). In den organischen Auflagehorizonten (Abb. 6.4-1) sind die Be-Gehalte mit Ausnahme oberhalb der Ortslagen Scharfenberg und Radebeul niedrig und überschreiten selten 2,0 mg/kg.

Die Anomalien im Ober- (Abb. 6.4-2) und Unterboden (Abb. 6.4-3) haben eine ähnliche Verbreitung, ihre Intensität ist im Unterboden häufig stärker. Nach REIMANN & CARITAT (1998) weist Beryllium eine verstärkte Adsorption an Tonminerale, organische Substanzen, Eisen- und Manganoxide auf. Die Böden aus sandigen und schluffigen Substraten fallen deshalb in der Karte durch niedrigere Be-Gehalte auf. In den Unterbodenhorizonten kommt es nach Tab. 3 zu deutlich erhöhten Be-Gehalten in den Auenböden der reliktschen und rezenten Auen und in den Braunerden aus Verwitterungssubstraten über saurem bis intermediärem Festgestein. Die erhöhten Gehalte in der zuletzt genannten Leitbodenassoziation resultieren vermutlich aus den höheren Be-Gehalten der Ausgangsgesteine. Die erhöhten Gehalte in den Auenböden können sowohl anthropogen als auch geogen durch die Anreicherung von Beryllium in den Flußsedimenten verursacht sein (Liefergebiet Zinnvererzungen Osterzgebirge).

EIKMANN & KLOKE (1993) geben als Orientierungswert für tolerierbare Gesamtgehalte in Kulturböden 1 mg/kg Be an.

Wismut (Bi)

Wismut ist für Organismen kein essentielles Element. REIMANN & CARITAT (1998) geben für Totalgehalte in Böden weltweit einen Medianwert von 0,3 mg/kg an.

Für die Gesteine des Untersuchungsgebietes liegen keine Wismutgehalte vor.

Analog den Elementen Blei und Molybdän ist Wismut in der organischen Auflage (Abb. 6.5-1) gegenüber den Ober- und Unterbodenhorizonten stark angereichert. Das kommt auch in dem deutlich höheren Medianwert der organischen Auflagehorizonte zum Ausdruck. Die Ursache dafür ist wahrscheinlich in der Bindung an die organische Substanz zu suchen. Im Oberboden (Abb. 6.5-2) gehen die Bi-Gehalte deutlich zurück. Erhöhungen treten nur noch in Einzelproben und in der rezenten Elbaue auf. Im Unterboden (Abb. 6.5-3) ist nur noch der Bereich der rezenten Elbaue erhöht. Es ist zu vermuten, daß Wismut dort teils anthropogen teils geogen aus den Einzugsgebieten mit Zinnvererzungen (Osterzgebirge) eingetragen wurde, da sich die Mediangehalte aller ande-

ren Leitbodengesellschaften auf deutlich niedrigerem Niveau bewegen (Tab. 3).

Für das Element Wismut existieren keine Grenz- bzw. Richtwerte.

Cadmium (Cd)

Cadmium gehört zu den stark toxischen Schwermetallen und ist zudem ein Akkumulationsgift für Warmblüter. Nach EIKMANN et al. (1991) schwanken die natürlichen Cd-Gehalte der Böden in Abhängigkeit von ihrem Tongehalt zwischen 0,01 und 1 mg/kg (meist 0,5 mg/kg).

Die vorhandenen Cd-Gehalte der Gesteine des geologischen Untergundes des Untersuchungsgebietes liegen meist deutlich unter 0,5 mg/kg (Tab. 2).

Nach RANK et al. (1999) haben Böden über Festgestein deutlich höhere Cd-Gehalte als Böden aus Löß und periglaziären Decksedimenten. Diese regionale Feststellung trifft auch auf das Untersuchungsgebiet zu. Entsprechend weisen die Braunerden aus glazifluviatitem Sand niedrigere Cd-Gehalte als die Braunerden aus Verwitterungs substraten über Festgestein auf. Die Cd-Gehalte der Böden aus Löß und Sandlöß nehmen eine Zwischenstellung ein (Tab. 3).

In den mineralischen Oberböden der Acker- und Grünlandstandorte sind häufig höhere Cd-Gehalte als auf den Forststandorten anzutreffen, da auf den Landwirtschaftsflächen Cadmium einerseits über Düngung eingebracht wird und andererseits durch höhere pH-Werte fester gebunden ist.

Die höheren Cadmiumgehalte in den Oh-Horizonten charakterisieren den ubiquitären Eintrag (Abb. 6.6-1).

Die Böden der reliktschen Aue aus tonigen, schluffig-sandigen bzw. lehmigen Substraten zwischen Sörnwitz, Neusörnwitz und Brockwitz und die Böden des Spaargebirges haben im Ober- und Unterboden gegenüber ihrer Umgebung leicht erhöhte Cd-Gehalte. Dieses Gebiet ist durch etwas höhere ubiquitäre Cd-Einträge über Staubniederschläge aus Emissionen von 0,6 µg/(m²-d) (UMEG, 1995) gekennzeichnet und wird hauptsächlich für Obst- und Weinbau genutzt.

Neben meist nur lokal auftretenden leicht erhöhten und industriell bedingten Anomalien ist in der Ortslage Neusörnwitz eine stärkere Cd-Anomalie im Ober- und Unterboden vorhanden. Die bodenkundliche Aufnahme weist an diesem Probestandort einen Auftragsboden mit Bauschutt und Schlacke aus, der anthropogen kontaminiert ist.

Eine weitere flächenmäßig bedeutsame Anomalie mit leicht

erhöhten Gehalten im Unterboden tritt im Friedewald am östlichen Rand des Untersuchungsgebietes auf. Da an dieser Stelle im Unterboden auch hohe Phosphorgehalte vorhanden sind, die vermutlich durch das frühere Aufbringen von Teichschlammern der umliegenden Teiche auf den Boden verursacht wurden, liegt die Vermutung eines anthropogenen Cd-Eintrages nahe.

Interessant ist, daß die Böden aus sandigen Substraten und die Hortisole um Weinböhla und Coswig selbst in dicht besiedelten Gebieten keine Cd-Anreicherungen aufweisen (Abb. 6.6-2, Abb. 6.6-3). Die negative Cd-Anomalie zieht sich im Unterboden von Gröbern bis in den Friedewald auch über andere Substrate hinweg.

Im Bereich des Bergbaureviers Scharfenberg kommt es durch die Vergesellschaftung von Cadmium mit zinkführenden Mineralen (Sphalerit) ebenfalls zu erhöhten Cd-Gehalten im Unterboden und in den organischen Auflagehorizonten. Die Cd-Gehalte in den Sphaleriten sind hier im Vergleich mit anderen Mineralisationen (Freiberg) gering.

Die Abbildungen 6.6-2 und 6.6-3 zeigen eine hohe Cd-Anreicherung in den Böden der rezenten Elbaue. Die mittleren Cd-Gehalte der Oberböden liegen dort auf Ackerstandorten mit 0,99 mg/kg deutlich über den mittleren Cd-Gehalten der anderen Leitbodengesellschaften (Tab. 3). Auch im Unterboden sind die Cd-Gehalte der Auenböden mit 1,4 mg/kg stark erhöht. Die höchsten Cadmiumgehalte von 2,1 mg/kg treten in den Oberböden der Grünlandstandorte der rezenten Elbaue auf. Ein Teil dieser Standorte ist in der Profilbeschreibung als Grünbrache ausgewiesen. BEUGE & ULIQUE (1997) geben für eine Probestraße bei Coswig mit fünf Bodenprofilen in den flußnahen Oberbodenhorizonten zwischen 3,0 und 3,8 mg/kg Cd an, in den flußfernen Oberböden sinken die Gehalte auf 0,3 bis 0,5 mg/kg Cd ab. Innerhalb der Profile nehmen die Cd-Gehalte mit zunehmender Teufe stark ab und pendeln sich unterhalb von 50 - 60 cm meist bei Gehalten von 0,2 bis 0,5 mg/kg Cd ein. RANK et al. (1999) geben als Hintergrundwerte (P 50) für die Auenböden der gesamten Elbaue in Sachsen 0,5 mg/kg Cd für die mineralischen Oberböden und 0,46 mg/kg für die Unterböden an. Die Ursache für die deutliche Cd-Akkumulation in den Ober- und Unterböden der Elbaue im Untersuchungsgebiet ist die frühere Einleitung industrieller Abwässer in die Elbe.

Die Prüf- und Maßnahmenwerte für Cadmium, Wirkungspfad Boden → Mensch, werden im Untersuchungsgebiet nicht erreicht (Tab. 6). Eine Ausnahme bildet der Prüfwert für Hausgärten, die als Aufenthaltsbereich für Kinder und den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden. Der Prüfwert ist wegen der hohen Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium auf 2 mg/kg festgelegt (BBodSchV). Dieser Prüfwert kann im Untersuchungsgebiet lokal und kleinflächig überschritten werden; genaue lokale Angaben sind aber wegen des großmaschigen Rasters der Probenahme nicht mög-

lich.

Nach BEUGE & ULIQUE (1997) stellt das Cadmium aufgrund seiner hohen Konzentration und seines hohen NH_4NO_3 -mobilisierbaren Anteils in Auenböden (bis zu 25 % des mit Königswasser extrahierbaren Anteils) ein Element mit einem hohen Gefahrenpotential dar.

Chrom (Cr)

Chrom ist ein für Pflanzen entbehrliches, für Menschen und Tiere jedoch essentielles Spurenelement. Chromgehalte können in unbelasteten Böden in Abhängigkeit von ihren Ausgangsgesteinen zwischen 5 mg/kg und 100 mg/kg betragen (EIKMANN, et al. 1991).

Die Chromgehalte von ausgewählten Gesteinen des Untersuchungsgebietes liegen zwischen 17 und 67 mg/kg (Tab. 2). Die sauren bis intermediären Vulkanite des Meißner Massivs und pleistozänen Sande haben generell weitaus niedrigere Cr-Gehalte als die schluffigen und tonigen Sedimente.

Den Einfluß des Substrates auf die Cr-Gehalte der Böden zeigt Tab. 3. Cr-Gehalte zwischen 30 und 35 mg/kg treten in Böden aus Verwitterungssubstraten saurer bis intermediärer Festgesteine und in Böden aus sandigen Substraten auf. Die Böden aus Löß, Sandlöß sowie lehmigen bis tonigen Substraten weisen Gehalte zwischen 46 und 60 mg/kg Cr auf, was den Hintergrundgehalten der Ausgangsgesteine entspricht (KARDEL et al., 1996). Generell lassen sich keine Tendenzen zur An- bzw. Abreicherung von Chrom in den einzelnen Bodenhorizonten feststellen. Nach HEILIGENHAUS (1995) liegen die Chromgehalte der Böden häufig in der Größenordnung der Ausgangsgesteine, eine natürliche Anreicherung von Chrom bei der Pedogenese findet nicht statt. Auf Ackerstandorten kann Chrom über Düngung und das Einbringen von Klärschlamm erhöht sein.

Da in Radebeul und Coswig z. T. metallverarbeitende und lederverarbeitende Industrie ansässig war bzw. ist, liegt die Vermutung der anthropogenen Belastung mit Chrom in den Siedlungsgebieten zwischen Coswig, Weinböhla und Brockwitz und in der Elbaue nahe (Abb. 6.7-2 und Abb. 6.7-3).

Die Probe, die im Süden Coswigs an der Elbaue im Oberboden ein starkes Maximum verursacht, welches im Unterboden fehlt, ist nach der Profilbeschreibung im Oberboden mit Asche, Bauschutt und Schlacke verunreinigt.

Eine größere Cr-Anomalie im Friedewald kann wie beim Element Cadmium eventuell mit der Bewirtschaftung der Teiche und dem damit verbundenen Ausbringen von Schlamm oder früherer Besiedlung zusammenhängen. Auf-

fallend ist, daß dort zwischen dem Dippelsdorfer Teich und den alten Teichen im Friedewald im Unterboden Maxima der Elemente Cadmium, Chrom, Eisen und Phosphor in ähnlicher Verbreitung auftreten. Durch den starken Wechsel der Substrate in diesem Gebiet von monzonitischen Verwitterungsdecken auf den Kuppen zu den sandig, lehmigen Auffüllungen in den Senken, die z. T. durch Staunässe geprägt sind, läßt sich keine substratbezogene Klärung der Anomalie finden. In früherer Zeit war dieses Gebiet stärker als heute besiedelt und auch die heutige Waldgrenze (Abb. 4) ist nicht mit der früheren identisch. Vielleicht handelt es sich hier um historische anthropogene Einflüsse.

Die höchsten Chromgehalte im Unterboden haben mit 86 mg/kg die rezenten Auenböden. In den Oberböden der Grünlandstandorte werden in der Elbaue 105 mg/kg Cr erreicht. RANK et al. (1999) geben als Hintergrundwert (Totalgehalte) für unbelastete Unterböden der gesamten Elbaue in Sachsen 50 mg/kg an. In den fünf Profilen einer Probentaverse bei Coswig treten nach BEUGE & ULIQUE (1997) in den flußnahen oberen Horizonten Cr-Gehalte zwischen 95 und 110 mg/kg auf. In den tieferen Bodenhorizonten und in den Böden der flußfernen Profile fallen die Cr-Gehalte auf 30 bis 50 mg/kg.

Die nach BBodSchV festgesetzten Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden → Mensch (Tab. 6) von 200 mg/kg Cr für Kinderspielflächen und 400 mg/kg Cr für Wohngebiete (Königswasseraufschluß) werden im Untersuchungsgebiet kaum erreicht. Die Vorsorgewerte für Chrom (Tab. 5) können für die Bodenarten Ton, Lehm und Schluff z. T. überschritten werden.

Kupfer (Cu)

Kupfer ist ein essentielles Element. Die Kupfergehalte von wenig bis unbelasteten Böden betragen 2 bis 40 mg/kg (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Die Kupfergehalte ausgewählter Gesteine des Untersuchungsgebietes schwanken zwischen 1 und 69 mg/kg (Tab. 2).

Nach Tab. 3 sind die Cu-Gehalte in den Oberböden der Acker- und Grünlandstandorte deutlich höher als in denen der Waldstandorte. Gegenüber den Oberböden ist Kupfer oft in den Auflagehorizonten der Waldstandorte angereichert, was auch am deutlich höheren Median (P50) der gesamten organischen Auflagehorizonte (Abb. 6.8-1) sichtbar ist. Die relative Abreicherung in den Oberbodenhorizonten unter Wald hängt vermutlich mit der zunehmenden Cu-Mobilität bei sauren pH-Werten und der damit verbundenen Wegführung des Elementes zusammen.

Die Kupfergehalte in den Unterbodenhorizonten liegen wegen des fehlenden Nutzungsbezuges innerhalb der Leitbo-

dengesellschaften in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein auf niedrigem Niveau und entsprechen den von RANK et al. (1999) angegebenen Hintergrundwerten mit Ausnahme der Auenböden.

Im Unterboden treten erhöhte Cu-Gehalte in der Nähe des Dippelsdorfer Teiches, westlich Radebeul, zwischen Sörnewitz, Neusörnewitz und Brockwitz, bei Scharfenberg und in der gesamten Elbaue auf (Abb. 6.8-3). Diese Anomalien nehmen im Oberboden eine größere Fläche ein. Zusätzlich treten bei Coswig und östlich Weinböhla punktförmige Maxima auf (Abb. 6.8-2). In den Oh-Horizonten (Abb. 6.8-1) sind die Kupfergehalte generell erhöht, wobei das Maximum östlich Weinböhla noch deutlicher hervortritt.

Bei den fast vollständig in Baugebietern liegenden z. T. aufgeschütteten Böden werden die Kupfergehalte meist durch anthropogene Einträge der Galvanik und metallverarbeitenden Industrie verursacht. Kupferhaltige Fungizide wurden in der Vergangenheit ebenfalls häufig im Wein- und Obstanbau verwendet. Zwischen Spaargebirge und Neusörnewitz befindet sich ein zusammenhängendes Anbauggebiet (Abb. 4). Der Kupfereintrag über Staubbiederschläge liegt hier außerdem mit 21 bis 25 µg/(m²-d) etwas über dem des restlichen Untersuchungsgebietes (UMEG, 1995). Das in der organischen Auflage und im Oberboden auftretende Maximum östlich Weinböhla liegt in unmittelbarer Nähe des ehemaligen Kalkwerkes. Im Bereich der Ortslage Scharfenberg sind erhöhte Kupfergehalte auf die dort vorhandenen Mineralisationen und deren Aufbereitung zurückzuführen. Die hohe Cu-Belastung der Elbaue läßt auf die Einleitung von Industrie und Bergbau belasteten Wässern schließen.

Die Böden der rezenten Elbaue liegen mit 46 mg/kg Cu (Acker) bzw. 81 mg/kg Cu (Grünland) im Oberboden und 73 mg/kg im Unterboden deutlich über den Mittelwerten der anderen Böden (Tab. 3). BEUGE & ULIQUE (1997) geben am Standort Coswig in drei flußnahen Profilen Kupfergehalte zwischen 80 und 110 mg/kg in den oberen Bodenhorizonten an. Die nicht mehr im Überschwemmungsbereich liegenden Profile haben in den oberen Horizonten nur noch 16 bzw. 17 mg/kg Cu. Die flußnahen Profile erreichen in einer Teufe von ca. 90 cm Cu-Gehalte zwischen 15 und 30 mg/kg in Abhängigkeit vom Substrattyp. Diese Werte liegen im Bereich der von RANK et al. (1999) angegebenen Hintergrundwerte für die Elbaue in Sachsen.

Kupfer ist für die Abschätzung des Gefährdungspfades Boden → Mensch nicht relevant. Der für eine Grünlandnutzung vorgesehene Maßnahmenwert von 1 300 mg/kg bzw. von 200 mg/kg bei einer Nutzung als Weideland für Schafe (Tab. 7) wird im Untersuchungsgebiet nicht erreicht. Die vorgeschlagenen Vorsorgewerte für Kupfer (Tab. 5) können im Untersuchungsgebiet vor allem in den Auenböden überschritten werden.

Fluor (F)

Fluor gilt für Menschen und Tiere allgemein als nützliches Element, wirkt jedoch in höheren Konzentrationen auf alle Organismen toxisch. Die Fluorgehalte der Böden liegen in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein meist zwischen 20 und 400 mg/kg (EIKMANN et al., 1991). Fluor gelangt anthropogen häufig über die chemische und metallverarbeitende Industrie sowie über die Düngung in den Boden.

In den ausgewählten Gesteinen des Untersuchungsgebietes schwanken die Fluorgehalte zwischen 110 und 500 mg/kg (Tab. 2).

Die Abb. 6.9-1 bis 6.9-3 zeigen außer in den Böden der Elbaue keine flächenhaft erhöhten Fluorgehalte über 540 mg/kg. In den organischen Auflagehorizonten ist Fluor mit einem Median (P50) von 250 mg/kg gegenüber dem Median der Ober- und Unterböden deutlich verarmt. Höhere Gehalte treten im Ober- und Unterboden parallel auf. Ein Maximum verläuft nördlich von Zaschendorf nach Oberau und fällt mit Maxima der Elemente Quecksilber, Nickel, Zink und Calcium zusammen. Diese Anomalie ist an das Auftreten von Umlagerungen aus Plänermergel und holozäne limnische Sedimente gebunden. Im Unterboden dehnt sich das Maximum bis zum Elbufer bei Brockwitz aus und umfaßt somit alle grund- und stauwasserbeeinflussten Böden über überwiegend lehmigen Substraten. In den aus Sanden der Höheren Niederterrasse entwickelten Böden treten keine höheren Gehalte auf. Das bestätigt die Aussage von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998), wonach die Bindungskapazität für Fluoride bei sandigen Böden niedrig und bei tonigen hoch ist.

Vergleicht man die durchschnittlichen F-Gehalte der einzelnen Leitbodengesellschaften miteinander (Tab. 3), so trifft das o. g. ebenfalls auf die rein substratbezogenen Medianwerte des Unterbodens zu. In den Böden über Plänermergel und über Lehmen bzw. Lehmsanden sind mit Ausnahme der anthropogen belasteten Auenböden die Fluorgehalte deutlich höher als in den Böden aus Sanden. Die Böden aus quartären Deckschichten über Granodioriten bzw. Monzoniten und über Löß nehmen eine Mittelstellung ein, ihre Gehalte stimmen sehr gut mit den von RANK et al. (1999) angegebenen Hintergrundwerten überein. Die mineralischen Oberböden unter Forst haben aufgrund niedriger pH-Werte meist niedrigere F-Gehalte als die Oberböden der Nutzungsarten Grünland und Acker.

Für das Element Fluor werden für den Wirkungspfad Boden → Mensch bzw. Boden → Pflanze keine Prüfwerte angegeben, da eine Gefährdung nahezu auszuschließen ist.

Quecksilber (Hg)

Quecksilberverbindungen besitzen eine stark toxische Wir-

kung. In nicht bzw. wenig belasteten Böden und Sedimenten treten Quecksilbergehalte von 0,02 bis 0,5 mg/kg auf, meist <0,1 mg/kg (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Die mittleren Quecksilbergehalte (Medianwerte) im Untersuchungsgebiet betragen in der organischen Auflage 0,03 mg/kg (Abb. 6.10-1), in den Oberbodenhorizonten 0,1 mg/kg (Abb. 6.10-2) und in den Unterbodenhorizonten 0,08 mg/kg (Abb. 6.10-3). Die arithmetischen Mittelwerte liegen z. T. deutlich höher. Mit Ausnahme der Böden der Elbaue werden im Untersuchungsgebiet flächenhafte Anreicherungen von Quecksilber >0,3 mg/kg nur selten erreicht.

Innerhalb der Leitbodengesellschaften gibt es keine eindeutige Differenzierung der Hg-Gehalte in Abhängigkeit vom Substrat oder von der Nutzung (Tab. 3). Die Quecksilbergehalte im mineralischen Oberboden sind gegenüber dem Unterboden häufig erhöht und die Anomalien oft flächenmäßig ausgedehnter. In Ballungsgebieten wie z. B. Coswig und Radebeul kann Quecksilber ubiquitär als Folge industrieller Emissionen eingetragen werden (Großfeuerungsanlagen).

Die punktförmige Anomalie östlich Weinböhma liegt in einem Auftragsboden. Sie wird im Unterboden deutlich geringer. Die flächenhafte Anomalie, die sich vom östlichen Rand Weinböhmals bis an den nördlichen Kartenrand zieht, ist an intensiv vernässte Böden, z. T. mit sekundärer Humusanreicherung im Oberlauf und Quellmuldenbereich des Lockwitzbaches gebunden.

Eine zweite schwach positive Anomalie zieht sich von Zschendorf über Niederau nach Oberau. Als Substrattyp treten hier hauptsächlich Umlagerungston aus Plänermergel, Lehme und Schluffe auf. Nach der Profilansprache sind diese Proben wegen ihrer Nutzung als Ackerstandort fast alle sichtbar mit Gülle bzw. Dünger kontaminiert. In der Landwirtschaft wurden früher quecksilberhaltige Pflanzenschutzmittel verwendet (Saatgutbeize). Durch das Ausbringen von Klärschlämmen, kompostierten Siedlungsabfällen und die Verrieselung kommunaler Abwässer können zusätzlich Verunreinigungen mit Quecksilber entstehen. Durch ihre Zugehörigkeit zur reliktschen Elbaue bzw. durch den hier ehemals angelegten Fürstenteich sind auch diese Böden durch Wassereinfluß geprägt. Der untere Teil dieser Anomalie bei Naustadt sowie die Anomalie auf der anderen Elbseite bei Sörnwitz sind vermutlich auf die Anwendung quecksilberhaltiger Spritzmittel im Obstbau zurückzuführen.

Bei Scharfenberg kommt es durch die Mineralisation und den damit verbundenen Bergbau zu einer Hg-Anomalie im Ober- und Unterboden.

Die Böden der Elbaue haben mit Gehalten von 1,5 mg/kg Hg im Unterboden und 1,4 bzw. 1,8 mg/kg im Oberboden eine deutliche Anreicherung von Quecksilber erfahren (Tab. 3). Der Quecksilbereintrag in aquatische Ökosysteme erfolgt vor

allem durch industrielle Abwässer. RANK et al. (1999) geben für die unbelasteten Unterböden der gesamten Elbaue in Sachsen als Hintergrundwert (P 50) 0,16 mg/kg Hg an, für die Oberböden auf Ackerstandorten 0,14 mg/kg, auf Grünland 0,30 mg/kg Hg. Nach BEUGE & ULIQUE (1997) betragen die Hg-Gehalte in den oberen Bodenhorizonten von drei flußnahen Profilen bei Coswig zwischen 2,4 und 1,5 mg/kg, in zwei flußferneren Profilen 0,1 mg/kg. Die Gehalte sinken nach der Teufe stark ab und erreichen in den flußfernen Profilen Gehalte <0,02 mg/kg Hg. MÜLLER & RAUER (1997) geben für die Böden in den Überflutungsgebieten der Elbe zwischen Schmilka und Dresden linkselbisch Hg-Gehalte von 1,0 bis 3,8 mg/kg und rechtselbisch von 0,2 – 3,6 mg/kg an.

Für den Wirkungspfad Boden → Mensch sind die Hg-Gehalte im Untersuchungsgebiet nicht relevant, da der niedrigste Prüfwert für Kinderspielflächen 10 mg/kg Hg beträgt (Tab. 6). Dieser Wert wird nur in einer Probe im Oberboden östlich Weinböhma überschritten. Die Vorsorgewerte für geogen unbelastete Böden können im Bereich der Elbaue überschritten werden (Tab. 5). Für den Wirkungspfad Boden → Pflanze wird nach BBodSchV ein Prüfwert für Ackerbau von 5 mg/kg und ein Maßnahmenwert von 2 mg/kg Hg bei einer Grünlandnutzung vorgeschlagen (Tab. 8).

Da Quecksilber im Boden durch die Bindung an die organische Substanz relativ immobil ist, kann man eine Gefährdung durch Aufnahme von Hg mit pflanzlichen Nahrungsmitteln weitgehend ausschließen.

Mangan (Mn)

Mangan ist für alle Lebewesen ein essentielles Element. Die Mangangehalte von Böden liegen meist zwischen 40 und 1 000 mg/kg (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). In manchen Bodenhorizonten kann Mangan jedoch eine deutliche pedogene Anreicherung erfahren.

Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Gesteine weisen keine Manganspezialisierung auf (Tab. 2).

In Böden liegt Mangan häufig als Manganoxid oder an Eisenoxide bzw. in organischen Komplexen gebunden vor. Manganoxide treten häufig mit Eisenoxiden assoziiert auf und können Akkumulationen von Kobalt, Nickel, Zink, Cadmium und Blei aufweisen, was durch die ähnliche Anomalieverteilung in den Abb. 6.13-2, 6.13-3, 6.14-2, 6.14-3, 6.19-2 und 6.19-3 deutlich wird. Der Anteil von gebundenem und austauschbarem Mangan hängt stark vom pH-Wert und dem Redoxpotential der Böden ab (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Nach den Abb. 6.11-2 und Abb. 6.11-3 haben die Hortisole über sandigen Substraten zwischen Weinböhma und Coswig und die Böden über quartären Verwitterungsdecken aus Ge-

steinen des Meißner Massivs und den in den Senken umgelagerten Sanden und Lehmsanden im Friedewald fast durchgehend niedrige Mangangehalte. Die fast immer anthropogen belasteten Stadtböden und die wasserbeeinflussten Böden über lehmigen Substraten zwischen Niederau und dem Elbufer erreichen sowohl im Ober- als auch im Unterboden höhere Gehalte. In fast allen Proben mit Mn-Gehalten >600 mg/kg sind in diesem Gebiet in der Profilbeschreibung Mangankonkretionen und Rostflecken im Boden beschrieben. Zu einer deutlichen Mangananreicherung innerhalb dieses Gebietes kommt es in den staunassen Auenböden am rechten Elbhang bei Sörnewitz.

Erhöhte Mangangehalte treten auf der linken Elbseite im Bergbaurevier Scharfenberg, wo das Mangan-Mineral Rhodochrosit als Gangart vorkommt, östlich und nördlich Röhrsdorf auf. Laut Profilbeschreibung sind in den Proben ebenfalls Mangankonkretionen in den Unterbodenhorizonten vorhanden. Interessant ist auch der Einfluß der Fahlerden in diesem Gebiet. Durch die Verlagerung von Eisen und Mangan in tiefere Bodenhorizonte erscheint bei den Fahlerden die Mangananomalie im Unterboden, wobei die sie umgebenden Braunerden bis Parabraunerden Manganmaxima im Oberboden aufweisen.

Die Böden der Elbaue haben mit mittleren Mn-Gehalten >1 000 mg/kg gegenüber den Böden der anderen Leitbodengesellschaften eine deutliche Anreicherung erfahren. RANK et al. (1999) geben für die Böden des sächsischen Anteils der Elbaue Hintergrundwerte von 750 mg/kg Mn auf landwirtschaftlich genutzten Oberböden, 680 mg/kg in den Oberböden über Grünland und 680 mg/kg in den Unterböden an. Mangangehalte >1 000 mg/kg wurden von BEUGE & ULIQUE (1997) in den oberen Horizonten von drei Auenbodenprofilen nahe Coswig beschrieben. Die Gehalte pendeln sich in den tieferen Unterbodenhorizonten meist zwischen 350 und 700 mg/kg Mn ein.

Die höchsten Mn-Gehalte in der organischen Auflage sind in den zwei Proben oberhalb der Ortslage Scharfenberg vorhanden und resultieren vermutlich aus der Bergbautätigkeit.

Gefährdungen über den Pfad Boden → Mensch und Boden → Pflanze sind beim Element Mangan nicht relevant. Auf Waldstandorten und Böden über sandigen Substraten muß wegen fehlenden Fixierungsmöglichkeiten und niedrigen pH-Werten mit hohen Manganausträgen gerechnet werden.

Molybdän (Mo)

Molybdän ist für alle Organismen ein essentielles Spurenelement. In Böden beträgt der Mo-Gehalt meist 0,2 bis 5 mg/kg. Böden aus sandigen Ausgangsmaterialien sind Mo-arm (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

In Gesteinen des Untersuchungsgebietes treten Mo-Gehalte

zwischen 0,33 (Heidesande) und 1,7 mg/kg (Tallehme) auf.

In den Elementkarten ist eine deutliche Anreicherung des Molybdäns in den organischen Auflagehorizonten (Abb. 6.12-1) gegenüber den Ober- (Abb. 6.12-2) und Unterbodenhorizonten (Abb. 6.12-3) zu sehen, was eine verstärkte Bindung des Molybdäns an die organische Substanz vermuten läßt.

Die Anomalien im Oberboden beschränken sich auf punktuelle Maxima südöstlich Weinböhla und westlich des Dippelsdorfer Teiches, auf die rezente Elbaue, das Gebiet um Scharfenberg und auf das Siedlungsgebiet zwischen Radebeul und Sörnewitz entlang der Elbaue.

Die Anomalien um Scharfenberg und zwischen Radebeul und Sörnewitz sind vermutlich durch den Bergbau und die Besiedlung anthropogen verursacht, da sie im Unterboden nicht mehr vorhanden sind.

Bei den punktuellen Mo-Maxima sind im Unterboden häufig Fe-Anreicherungen beschrieben.

Nach EIKMANN & KLOKE (1993) beträgt der Orientierungswert für tolerierbare Mo-Gesamtgehalte in Böden 5 mg/kg.

Nickel (Ni)

Das Element Nickel gilt teilweise als essentielles Spurenelement. In weitgehend unbelasteten Böden treten Nickelgehalte zwischen 5 und 50 mg/kg auf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). In den Gesteinen kommt Nickel in Basiten und Ultrabasiten in höheren Konzentrationen vor. Anthropogene Nickeleinträge erfolgen vor allem durch Metallurgie, nickelverarbeitende Industrie, durch die Verbrennung fossiler Energieträger und durch Abwässer.

Im Untersuchungsgebiet liegen die Nickelgehalte in den Gesteinen unter 20 mg/kg (Tab. 2).

Die Verteilung des Nickels ähnelt im Ober- und Unterboden (Abb. 6.13-2 und Abb. 6.13-3) der des Mangans und des Eisens. Die Böden aus sandigen Substraten und die Böden aus quartären Deckschichten über den Gesteinen des Meißner Massivs im Friedewald haben generell sehr niedrige Ni-Gehalte, meist <10 mg/kg.

Die anthropogenen Böden, mit Ausnahme der Hortisole, die Böden über Löß, Sandlöß, Plänermergelzersatz und die Böden der Flußauen und Bachtäler über lehmigen bzw. sandigen bis lehmigen Substraten liegen mit ihren Gehalten häufig darüber. Die Nickeladsorption und die Nickelbindung erfolgt im Boden hauptsächlich durch Mangan-, Eisen- und Aluminiumoxide sowie durch Tonminerale. Mit abnehmendem pH-Wert steigt die Verfügbarkeit und die Verlagerbarkeit von Nickel (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). Die niedri-

gen Nickelgehalte im Untersuchungsgebiet korrespondieren gut mit den niedrigen pH-Werten der Böden unter Forst.

Im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes innerhalb der Lößhochfläche wird in den Fahlerden parallel zum Element Mangan auch Nickel im Unterboden angereichert.

In der organischen Auflage sind die Ni-Gehalte durch atmosphärische Einträge z. T. höher als in den mineralischen Bodenhorizonten (Abb. 6.13-1).

Die Böden der Elbaue haben mit mittleren Gehalten von 43 bzw. 46 mg/kg Ni im Oberboden und 41 mg/kg Ni im Unterboden erwartungsgemäß eine deutliche Anreicherung des Elementes aufzuweisen. RANK et al. (1999) geben als Hintergrundgehalte für die Böden der gesamten sächsischen Elbaue 20 mg/kg Ni im Unterboden und 21 mg/kg (Grünland) bzw. 27 mg/kg (Acker) im Oberboden an. Die Untersuchungen von BEUGE & ULIQUE (1997), die in den oberen Horizonten von drei flußnahen Auenprofilen zwischen 35 und 41 mg/kg Ni und in den Unterbodenhorizonten aller Profile bzw. in den Oberbodenhorizonten der flußferneren Profile zwischen 15 und 20 mg/kg Ni angeben, stimmen gut damit überein. Die aus dem Ammoniumnitrat-auszug analysierten Nickelgehalte liegen in den oberen Bodenhorizonten zwischen 0,1 und 0,3 mg/kg. Nach MÜLLER & RAUER (1997) schwanken die Nickelgehalte in den Böden der Überflutungsgebiete der Elbe zwischen Pirna und Dresden zwischen 17 und 48 mg/kg.

Die nach BBodSchV für den Wirkungspfad Boden → Mensch angegebenen Prüfwerte von 70 mg/kg Ni auf Kinderspielflächen und 140 mg/kg Ni in Wohngebieten sind für das Untersuchungsgebiet kaum relevant. Die Vorsorgewerte (Tab. 5) können in einzelnen Fällen überschritten werden (Elbaue). Der Maßnahmenwert von 1 900 mg/kg Ni (Tab. 7) für Grünlandnutzung wird in keiner Probe überschritten.

Blei (Pb)

Blei ist ein toxisches Element, wenn auch mit einer deutlich geringeren Toxizität als Cadmium und Quecksilber. Unbelastete Böden enthalten im Durchschnitt zwischen 2 und 60 mg/kg Pb.

Die Gesteine im Untersuchungsgebiet haben Bleigehalte zwischen 18 und 60 mg/kg (Tab. 2).

Generell läßt sich aus Tab. 3 ableiten, daß die Bleigehalte von der organischen Auflage (Abb. 6.14-1) zum Unterboden (Abb. 6.14-3) hin stark absinken, um sich dort, mit Ausnahme der rezenten Auenböden, zwischen 30 und 40 mg/kg Pb einzupendeln. Die Oberböden unter Forst haben meist deutlich höhere Bleigehalte als die Oberböden unter Acker und Grünland. Die substratbedingten Unterschiede der Böden werden dadurch zumindest in den oberen Bodenhorizonten

verwischt.

Nach RANK et al. (1999) betragen die Bleigehalte in der organischen Auflage ca. das 2 bis 5fache der Gehalte im Ober- und Unterboden und sind das Ergebnis globaler und regionaler Bleiemissionen. Erhöhte Bleigehalte im Boden korrelieren häufig mit erhöhten Gehalten organischer Substanz. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) kommt es dabei zur Bildung von metallorganischen Komplexen hoher Stabilität.

Pb-Gehalte >150 mg/kg treten in der organischen Auflage des Untersuchungsgebietes in etwa der Hälfte aller Proben auf, im mineralischen Oberboden sind sie nur noch auf das Stadtgebiet von Radebeul und Scharfenberg beschränkt. Die Anomalie um Scharfenberg ist im Unterboden noch abgeschwächt vorhanden und steht mit der Mineralisation und dem damit verbundenen Auftreten von Bleierzten im Zusammenhang. Durch die Vielzahl der in den Bebauungsgebieten vorhandenen Industriebetriebe, Altablagerungen und den Verkehr ist mit einem hohen ubiquitären Bleieintrag zu rechnen. Die mittleren Bleigehalte im Staubbiederschlag betragen 1994/95 im Untersuchungsgebiet zwischen 13 und 25 µg/(m²-d) (UMEG, 1995).

In den Böden der rezenten Elbaue kommt es bis in den Unterboden zu einer Anreicherung von Blei. Die von RANK et al. (1999) angegebenen Hintergrundwerte von 41 mg/kg Pb für den Unterboden der gesamten sächsischen Elbaue werden im Untersuchungsgebiet mit 116 mg/kg deutlich überschritten. Die Pb-Gehalte in der Elbaue können sowohl aus den Gesteinen und den Mineralisationen der Einzugsgebiete (Osterzgebirge) als auch aus industriellen Verunreinigungen stammen. RANK et al. (1999) geben für das Osterzgebirge bis in den Raum Altenberg großflächig erhöhte Bleigehalte in Böden an. Die Untersuchungen an den Auenböden des Bodenmeßnetzes Radebeul stimmen gut mit den Angaben von BEUGE & ULIQUE (1997) überein, die in den oberen Horizonten von drei Auenprofilen bei Coswig ebenfalls Bleigehalte um 100 mg/kg bestimmt haben. Nach MÜLLER (1995) liegt der NH₄NO₃-extrahierbare Anteil in den Böden der Elbaue zwischen 0,1 und 0,5 mg/kg Pb.

Der Prüfwert nach BBodSchV für Wohngebiete von 400 mg/kg Pb (KW-Auszug) wird im Untersuchungsgebiet nur in Ausnahmefällen überschritten. Für den Wirkungspfad Boden → Nutzpflanze wird für Grünland ein Maßnahmenwert von 1 200 mg/kg Pb im Königswasserextrakt angegeben (Tab. 7), der im Untersuchungsgebiet nicht erreicht wird. Die Bleigehalte der Böden können z. T. über den empfohlenen Vorsorgewerten liegen (Tab. 5).

Thallium (Tl)

Das Element Thallium gehört zu den für Organismen toxischen Spurenelementen. Nach STREIT (1991) liegen die Tl-

Gehalte in unbelasteten Böden zwischen 0,01 und 0,5 mg/kg, REIMANN & CARITAT (1998) geben für Böden weltweit einen Median von 0,5 mg/kg an.

Für die Gesteine im Untersuchungsgebiet sind Thalliumanalysen nur für Plänermergel (0,49 mg/kg) und Löß (0,30 mg/kg) vorhanden.

Die mittleren Tl-Gehalte in den einzelnen Bodenhorizonten weichen nicht wesentlich voneinander ab (Abb. 6.15-1 bis 6.15-3) und liegen zwischen 0,6 und 0,7 mg/kg.

Betrachtet man die mittleren Gehalte der einzelnen Leitbodengesellschaften fallen die Böden aus sandigen Substraten durch niedrige Tl-Gehalte auf (Tab. 3). Höhere Gehalte haben die Böden der rezenten und reliktschen Auen, die Böden aus Verwitterungssubstraten über Plänermergel und sauren bis intermediären Vulkaniten. Nach STREIT (1991) besitzen die sauren Vulkanite generell höhere Tl-Gehalte.

Da erhöhte Tl-Gehalte im Bereich der osterzgebirgischen Zinnvererzungen bekannt sind, liegt nahe, daß die Ursache der erhöhten Gehalte in den Auensedimenten der Elbe in den Liefergebieten begründet ist.

Die stärksten Anomalien treten in Untersuchungsgebiet zwischen Zaschendorf, Bohnitzsch und Niederau, im Friedewald bei Auer und um die Ortslage Scharfenberg auf. Während bei Scharfenberg das Thallium durch die Mineralisation angereichert ist, kommt in den anderen Gebieten der Einfluß der Substrate bzw. der Vernässung in den erhöhten Tl-Gehalten im Boden zum Ausdruck.

Vom Umweltministerium Baden-Württemberg (UMBW, 1993) wird für Thallium-Gesamtgehalte für den Wirkungspfad Boden → Mensch ein Prüfwert von 1 mg/kg für Spielflächen und von 4 mg/kg für Siedlungsflächen angegeben.

Uran (U)

Das Element Uran ist für Organismen ebenfalls kein essentielles Element. Nach STREIT (1991) liegen die Urangelhalte unbelasteter Böden zwischen 0,01 und 1 mg/kg.

Die Urangelhalte ausgewählter Gesteine des Untersuchungsgebietes schwanken zwischen 1,4 und 5,8 mg/kg, wobei die sauren bis intermediären Plutonite des Meißner Massivs deutlich höhere Gehalte als die Sedimentgesteine haben.

Aus der Gesamtstatistik der einzelnen Horizonte (Abb. 6.16-1 bis Abb. 6.16-3) ist ersichtlich, daß ihre Mediangehalte nicht wesentlich voneinander abweichen. Die Verbreitung der Anomalien im Ober- und Unterboden ist ähnlich.

Die Statistik in Tab. 3 zeigt eindeutig eine substratbezogene Verteilung des Urans in den Böden des Untersuchungsgebietes.

Die niedrigsten Urangelhalte treten in den Ober- und Unterböden der Hortisole zwischen Weinböhlä und Coswig, in den Böden aus glazifluviatilen Sanden und in den Böden aus Verwitterungssubstraten über Plänermergel auf. Die Böden aus Sandlöß haben generell niedrigere Gehalte als die Böden aus Löß. Die durchschnittlichen Urangelhalte der einzelnen Leitbodengesellschaften sind bei ausreichenden Stichprobenzahlen von der Nutzung unabhängig. Ihre Gehalte im Ober- und Unterboden sind ähnlich.

Höhere U-Gehalte in den Unterböden treten bedingt durch das U-Angebot in den Ausgangsgesteinen in den Böden aus Verwitterungssubstraten über sauren bis intermediären Festgesteinen auf. In den reliktschen Auenböden sind die U-Gehalte gegenüber den anderen Leitbodengesellschaften leicht, in den rezenten Auenböden deutlich erhöht. In den rezenten Auenböden wird u. U. der Einfluß der Einleitung U-haltiger Abwässer aus der Lagerstätte Königstein deutlich.

EIKMANN & KLOKE (1993) geben für das Element Uran eine tolerierbaren Gesamtgehalt von 5 mg/kg in Kulturböden an.

Vanadium (V)

Das Element Vanadium gilt für manche Organismen als essentielles Element. Nach STREIT (1991) haben unbelastete Böden V-Gehalte zwischen 10 und 100 mg/kg.

Innerhalb der vorhandenen Gesteinsanalysen des Untersuchungsgebietes schwanken die Gehalte zwischen 41 und 160 mg/kg V.

Aus den Karten (Abb. 6.17-1 bis 6.17-3) ist ersichtlich, daß in den organischen Auflagehorizonten die Vanadiumgehalte sehr niedrig sind. Der Median der Auflagehorizonte liegt mit 35 mg/kg deutlich unter dem des Ober- und Unterbodens von 49 mg/kg.

Im Oberboden treten V-Gehalte >65 mg/kg fast ausschließlich in den Böden der rezenten und reliktschen Elbaue mit tonigeren Substraten auf. Die Böden aus sandigen Substraten haben sehr niedrige V-Gehalte, die Böden aus Löß nehmen eine Zwischenstellung ein.

Im Unterboden vergrößert sich die Anomalie westlich des Dippelsdorfer Teiches bis an die Ortslage Auer, zwischen Röhrsdorf und Sauernitz und östlich Coswig treten neue Anomalien auf. Am punktförmigen Maximum zwischen Radebeul und Coswig sind ebenfalls die Elemente Kupfer, Fluor, Nickel, Eisen, Calcium, Natrium und Magnesium erhöht, was im Unterboden für den Einfluß des dort anstehenden Andesits spricht.

Ob die Anomalie zwischen dem Dippelsdorfer Teich und Auer ein Ausdruck der erhöhten V-Gehalte des Syenodiorits ist oder sich auf historische anthropogene Prozesse zurück-

zuführen läßt, kann nicht eindeutig geklärt werden.

EIKMANN & KLOKE (1993) geben einen tolerierbaren Gesamtgehalt von 50 mg/kg Vanadium für Kulturböden an.

Wolfram (W)

Wolfram ist für Organismen kein essentielles Element. REIMANN & CARITAT (1998) geben für Böden weltweit einen Median von 1,5 mg/kg an.

In den Gesteinen des Untersuchungsgebietes schwanken die vorhandenen W-Analysen zwischen 1,0 und 4,5 mg/kg.

Wolfram ist in den organischen Auflagehorizonten (Abb. 6.18-1) gegenüber den Ober- und Unterbodenhorizonten angereichert.

Bei den mineralischen Bodenhorizonten haben die Böden aus sandigen Substraten und Sandlöß sehr niedrige W-Gehalte. In den Böden der reliktschen Elbaue, in den Böden westlich des Dippelsdorfer Teiches und zwischen Radebeul und Coswig treten leicht erhöhte Gehalte auf. Die Ausdehnung der Anomalien wird im Unterboden meist geringer. Das starke punktförmige Maximum im Süden Coswigs an der Elbaue weist im Oberboden ebenfalls bei den Elementen Nickel, Eisen, Kupfer, Chrom, Cadmium und Molybdän erhöhte Gehalte auf. Nach der Standort- und Profilbeschreibung wurde dort ein im Oberboden mit Asche, Schlacke und Bauschutt verunreinigter Auftragsboden angesprochen.

Die höchsten W-Gehalte im Untersuchungsgebiet treten in den Unterböden der rezenten Elbaue auf. Mit einem Median von 14 mg/kg W (Tab. 3) liegen sie deutlich über den Medianwerten aller anderen Leitbodengesellschaften. Die nutzungsbezogenen Durchschnittsgehalte für Acker und Grünland sind in der Elbaue ebenfalls sehr hoch. Vermutlich resultieren sie aus den erhöhten W-Gehalten der Müglitzsedimente, da im Einzugsgebiet der Müglitz zahlreiche W-führende Zinnmineralisationen im Osterzgebirge auftreten.

Für das Element Wolfram gibt es keine Prüf- und Grenzwerte.

Zink (Zn)

Zink ist für Lebewesen ein essentielles Spurenelement, es kann jedoch bei höheren Konzentrationen toxisch wirken. Der Zinkgehalt unbelasteter Böden schwankt häufig zwischen 10 und 80 mg/kg (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Die Gesteine im Untersuchungsgebiet haben mittlere Zinkgehalte zwischen 20 und 92 mg/kg, in lehmigen Substraten ist es gegenüber den Sanden deutlich angereichert (Tab. 2).

In den organischen Auflagehorizonten (Abb. 6.19-1) und Unterböden (Abb. 6.19-3) treten selten Zinkgehalte >90 mg/kg auf. Erhöhte Zn-Gehalte im Unterboden zeigen die rezenten Auenböden, die Böden um das Bergbaurevier Scharfenberg (nur eine Probe), die Böden zwischen Sörnewitz und Neusörnewitz und Einzelproben im Friedewald bei Auer, am Dippelsdorfer Teich und am Altenteich.

Im Oberboden ist Zink häufig in dichtbesiedelten Stadtgebieten von Radebeul, Coswig und Weinböhla angereichert und anthropogener Herkunft. Zwischen Zschendorf und Oberau sind die Zinkgehalte im Oberboden ebenfalls erhöht. Die weitgehend landwirtschaftlich genutzten Böden über vorwiegend lehmigen Sedimenten und Umlagerungsprodukten weisen auch bei den Elementen Fluor, Quecksilber und Nickel Maxima auf und korrespondieren gut mit den höchsten pH-Werten im Untersuchungsgebiet. Neben dem Substrat wird in diesen Böden auch der Emissionseinfluß aus dem Meißener Stadtgebiet wirksam. Die Immissionsmessungen im Oberen Elbtal (UMEG, 1995) geben für das Untersuchungsgebiet Zn-Gehalte zwischen 83 und 131 µg/(m²·d) im Staubniederschlag an. Im Stadtzentrum von Meißen steigen die Werte z. T. auf das anderthalbfache an. Punktueller Maxima bei Neusörnewitz, Sörnewitz, Coswig, Radebeul und Weinböhla kennzeichnen Standorte metallverarbeitender Industrie bzw. des Wein- und Obstbaus.

Die mittleren Zn-Gehalte in den Böden der Elbaue liegen ein Vielfaches über denen der anderen Leitbodengesellschaften (Tab. 3). Die mittleren Gehalte im Unterboden betragen in den Auenböden 490 mg/kg Zink und liegen damit sogar noch über den Zinkgehalten im Oberboden auf Landwirtschaftsflächen. RANK et al. (1999) geben als Hintergrundgehalte für die Unterböden der gesamten Elbaue auf sächsischem Gebiet 70 mg/kg Zink an. Die Werte des Bodenmeßnetzes Radebeul stimmen gut mit den Untersuchungen von BEUGE & ULIQUE (1997) überein, die in den oberen Horizonten der Elbaue bei Coswig Zinkgehalte zwischen 420 und 510 mg/kg angeben. In den tieferen Profilmereichen ab ca. 1 m Tiefe sinken die Gehalte in den Bereich der Hintergrundwerte ab. Bestimmungen am Ammoniumnitrat auszug erbrachten fast ausschließlich Zn-Gehalte <1 mg/kg.

Für den Wirkungspfad Boden → Mensch ist Zink nicht relevant; ebenso verhält es sich für den Wirkungspfad Boden → Pflanze. Die Vorsorgewerte (Tab. 5) werden z. T. überschritten.

4.3 Hauptelemente

Gesamter organischer Kohlenstoff (C_{org})

Ähnlich dem pH-Wert kommt dem C_{org}-Gehalt hinsichtlich der Bindung bzw. der Freisetzung und Verfügbarkeit von Elementen, insbesondere von Schwermetallen eine besondere

re Bedeutung zu.

Die C_{org} -Gehalte in den organischen Auflagehorizonten (Abb. 7.1-1) können in Abhängigkeit von den lokalen Standortbedingungen und der Bindung an die Humusform stark schwanken. Die Feuchthumusformen und der Rohhumus erscheinen als positive Anomalie, wogegen Mull und mullartiger Moder negative Anomalien verursachen. Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Horizonte war eine exakte Probenahme nicht immer möglich, z. T. wurde dabei Material aus den Oberbodenhorizonten mit entnommen, was zu einer Verringerung der C_{org} -Gehalte führte (Gehalte z. T. <15 % C_{org} bzw. <30 % Humus).

In den Oberbodenhorizonten (Abb. 7.1-2) treten C_{org} -Gehalte >2,4 % flächendeckend im Friedewald, in den Böden der Elbaue und in den Böden zwischen Bohnitzsch und Zschendorf auf und sind das Ergebnis einer sekundären Humusanreicherung durch Vernässung. Diese Tendenzen bleiben im Unterboden, wenn auch auf dem Niveau geringerer C_{org} -Gehalte, bestehen.

Nach Tab. 3 sind die C_{org} -Gehalte im Oberboden deutlich nach ihrer Nutzung differenziert. Die Gehalte unter Forst und Grünland liegen immer über denen der Oberböden unter Ackernutzung. Vergleichsweise niedrige C_{org} -Gehalte haben gegenüber den anderen Leitbodengesellschaften die Oberböden der Braunerden über Flußterrassen und glazifluviatilen Sanden unter Wald und Acker. Die Gartenböden aus Sanden in Weinböhla, die Böden aus den Sanden der Höheren Niederterrasse, die Böden aus Sandlöß und Löß fallen ebenfalls durch sehr niedrige C_{org} -Gehalte auf. Bei letzteren, überwiegend landwirtschaftliche genutzten Böden, kam es durch „Übernutzung“ zu einer Humuszehrung. Dagegen steigen bei den Böden über lehmigen Substraten die C_{org} -Gehalte leicht an. Im Oberboden sind hohe C_{org} -Gehalte häufig mit hohen Bleigehalten assoziiert.

Aluminium (Al)

Die Aluminiumgehalte nehmen im Untersuchungsgebiet von der organischen Auflage zum Unterboden hin zu. Aufgrund des hohen Anteils an organischer Substanz sind die Aluminiumgehalte in der organischen Auflage (Abb. 7.2-1) sehr niedrig.

Die Aluminiumgehalte im Oberboden (Abb. 7.2-2) und Unterboden (Abb. 7.2-3) verhalten sich in etwa analog, die Maxima sind im Unterboden noch verstärkter ausgeprägt und zeigen den Verwitterungsgrad der Substrate. Generell sind die Aluminiumgehalte der Böden aus sandigen Substraten niedriger als aus lehmigen Substraten und aus Löß, da Aluminium in den Substraten häufig an Alumosilikate (Feldspäte, Glimmer), Tonminerale und Aluminiumoxide bzw. -hydroxide gebunden ist.

Auf Waldstandorten kann es durch die extrem niedrigen pH-Werte zu einer verstärkten Lösung von Aluminium aus seinen Verbindungen und zum Ansteigen von Al^{3+} -Ionen in der Bodenlösung führen. Diese wirken z. T. toxisch auf die Vegetation bzw. gefährden die Trinkwasserqualität. Im Untersuchungsgebiet trifft das besonders auf die Podsolstandorte zu.

Für den Wirkungspfad Boden → Mensch spielt Aluminium keine Rolle.

Calcium (Ca)

Calcium ist ein essentielles Element und wird in der Land- und Forstwirtschaft oft über Düngung eingetragen.

In der organischen Auflage (Abb. 7.3-1) ist Calcium gegenüber den mineralischen Bodenhorizonten abgereichert.

In den Oberböden (Abb. 7.3-2) und Unterböden (Abb. 7.3-3) treten erhöhte Calciumgehalte zwischen Zschendorf, Bohnitzsch, Niederau und Oberau auf. Diese Anomalie wird durch die kalkreicheren Substrate aus zersetztem Plänermergel der Kreide verursacht. In der Nähe der punktuellen Anomalie östlich Weinböhla war ehemals der Standort eines Kalkwerkes, heute befindet sich dort ein mit Bauschutt, Bodenaushub und Hausmüll verfüllter Steinbruch. Die Anomalie am Dippelsdorfer Teich fällt mit Maxima der Elemente Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer und Fluor zusammen und ist vermutlich anthropogener Herkunft. Auch die Böden der Elbaue haben leicht erhöhte Calciumgehalte. Calciummaxima treten auch z. T. in den anthropogen veränderten Stadtböden auf.

Im Untersuchungsgebiet besteht eine gute Korrelation zwischen den Ca-Gehalten und den pH-Werten (Abb. 6.1-1 bis Abb. 6.1-3). In den Ackerböden sind meist mittlere Calciumgehalte zwischen 0,27 und 0,73 Masse % vorhanden, die sowohl aus den Substraten bzw. über die Düngung in den Boden gelangen. Die pH-Werte liegen dort häufig zwischen 5,0 und 6,5.

Auf den stark bis extrem versauerten Waldböden herrscht dagegen häufig Calciummangel, was zu Wurzelschäden und Ernährungsstörungen der Waldvegetation und Bodenfauna und -flora führen kann (SCHEFFER & SCHACHT-SCHABEL, 1998). Bei den generell niedrigen Ca-Gehalten treten Calciumminima über basenarmen sandigen Substraten (Heidesande) und über Verwitterungssubstraten über sauren bis intermediären Festgesteinen auf.

Eisen (Fe)

Auch das Eisen gehört zu den essentiellen Elementen und wird von den Organismen in Spuren benötigt. Der Gehalt an Gesamteisen liegt in Böden häufig zwischen 0,2 und 5 %

(SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). In bestimmten Bodenhorizonten kann Eisen durch pedogenetische Prozesse eine Anreicherung in Form von Rostflecken und Eisenkonkretionen erfahren.

In den organischen Auflagen (Abb. 7.4-1) treten generell niedrigere Eisengehalte als in den mineralischen Bodenhorizonten auf. Nördlich von Radebeul und östlich von Coswig kommt es in den Oh-Horizonten zu einem Anstieg der Eisengehalte (auch von Mangan und z. T. von Zink), was auf einen anthropogenen Eintrag (Feuerungsanlagen) schließen läßt, da die Gehalte dort im Ober- und Unterboden niedriger sind.

Im Oberboden (Abb. 7.4-2) deutet sich bereits der Unterschied zwischen den Böden aus sandigen Substraten und den Böden aus lehmigeren und schluffigen Substraten an. In den grund- und stauwassergeprägten Böden aus überwiegend schluffigen und lehmigen Substraten der alten Elbaue zwischen Zaschendorf, Niederau und Sörnewitz sind die Eisengehalte durch Oxidations- und Reduktionsvorgänge im Boden gegenüber der Umgebung deutlich erhöht. Auch in den kolluvial beeinflussten Bachläufen und lehmgefüllten Senken im Friedewald liegen die Eisengehalte häufig höher. Die Böden über dem Biotitgranodiorit des Spaargebirges treten entsprechend ihrem Substrat durch niedrigere Eisengehalte aus ihrer Umgebung hervor, da Eisen nicht anthropogen über den Weinanbau eingebracht wurde. Die Böden aus Lößsand im Nordwesten des Kartenblattes liegen mit ihren Fe-Gehalten unter denen der Böden aus Löß.

Im Unterboden (Abb. 7.4-3) haben neben den reliktschen Vegen, Pseudogleyen und Gleyen der alten Elbaue auch die Parabraunerden aus Löß auf der anderen Elbseite höhere Eisengehalte. Das Eisen ist hier durch pedogenetische Prozesse in den tieferen Unterbodenhorizonten fixiert. Die Fahlerden um Scharfenberg zeichnen sich in diesem Gebiet als negative Anomalie ab. Das Eisen wurde hier vermutlich in noch tiefere Bodenhorizonte verlagert. Die nordöstlich von Röhrsdorf gelegene Probe mit deutlich höheren Eisengehalten führt im Unterboden Kies und liegt in einer Abflußrinne. Die starke Eisenanomalie in der Nähe der Ortslage Auer wird durch das Vorkommen von Oxigley mit Raseneisenstein im Unterboden verursacht. Auch die Böden der Elbaue haben im Ober- und Unterboden höhere Fe-Gehalte.

In den Elementkarten des Eisens zeichnen sich hauptsächlich die Substrate und die pedogenetisch bedingten Prozesse der Sesquioxidverlagerung ab.

Kalium (K)

Die Gesamtkaliumgehalte in Böden liegen in der Regel zwischen 0,2 und 3,3 % (EIKMANN et al. 1991). Generell steigen die Kaliumgehalte in Böden mit zunehmenden Tongehalten an.

Die K_2O -Gehalte der Gesteine des Meißner Massivs betragen zwischen 4,0 und 4,6 % (NÖLDECKE et al., 1988). Kalium wird bei der Umwandlung von Feldspäten zu Tonmineralen im Verlauf der Verwitterung aus den Gesteinen freigesetzt und weggeführt.

In den organischen Auflagehorizonten (Abb. 7.5-1) kommt es außer in einer Probe unweit Scharfenberg zu keiner Anreicherung des Elementes Kalium.

Die Kaliumverteilung im Ober- (Abb. 7.5-2) und Unterboden (Abb. 7.5-3) ist weitgehend substratbedingt. Die Böden aus sandigen Substraten (Heidesande, Sande der Niederterrassen, umgelagerte Heidesande) haben niedrige Kaliumgehalte. Die Kaliumgehalte sind in diesen Böden in der Regel leichter verfügbar und können deshalb auch schneller ausgewaschen werden. Die Böden aus Löß zeigen durchgängig relativ hohe Kaliumgehalte. Ähnliche Gehalte weisen auch die Böden aus Auenschluff über Auenkieslehm auf. Böden aus Sandlöß und den quartären Verwitterungsdecken über den Gesteinen des Meißner Massivs nehmen eine Mittelstellung zwischen den Böden aus Löß und Sand ein. Bemerkenswert ist der relativ geringe Kaliumgehalt der Substrate aus Zersetzungsprodukten des Plänermergels.

Die Verteilung der Maxima und Minima der Gehalte ist im Untersuchungsgebiet im Ober- und Unterboden fast identisch.

Auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden wird Kalium häufig über die Düngung in den Boden eingetragen. Das in allen drei Bodenhorizonten auf beiden Elbseiten zwischen Sörnewitz und Scharfenberg auftretende Maximum kann anthropogen durch Düngung im Obstanbau verursacht sein. Weiterhin kommt es in der Umgebung der Teiche im Friedewald häufig zu Kaliummaxima.

Magnesium (Mg)

Magnesium gehört zu den für Lebewesen essentiellen Elementen. Die mittleren Magnesiumgehalte werden von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) für carbonatarmerdeuropäische Böden zwischen 0,05 und 0,5 % angegeben. Der Magnesiumgehalt steigt in den Böden in der Regel mit zunehmendem Ton- und Schluffgehalt. Magnesium kann auf landwirtschaftlich genutzten Flächen über die Düngung eingetragen werden.

Generell nehmen die Magnesiummaxima im Untersuchungsgebiet von der organischen Auflage (Abb. 7.6-1) über den Oberboden (Abb. 7.6-2) zum Unterboden (Abb. 7.6-3) zu.

Sehr niedrige Mg-Gehalte treten erwartungsgemäß in den Böden der Sandregionen des Tieflandes und zum großen Teil in den Böden des Hügellandes aus quartären Deckschichten mit lößarmem bis lößfreiem Feinbodenanteil über den sauren

bis intermediären Magmatiten auf. Auch die Böden aus Sandlöß im nordwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes haben niedrige Magnesiumgehalte. In den Böden aus Löß liegen die Gehalte vor allem im Unterboden dagegen deutlich höher.

Magnesiummaxima treten im Ober- und Unterboden in den Böden der Elbaue, in den reliktschen Auenböden der Elbe zwischen Zaschendorf, Niederau und Brockwitz und in den Böden über zersetztem Plänermergel auf. Alle diese Böden haben einen höheren Ton- und Schluffanteil im Feinboden.

Das starke punktförmige Maximum im Unterboden zwischen Coswig und Radebeul korreliert gut mit Maxima der Elemente Kupfer, Fluor, Nickel, Eisen, Calcium und Natrium. Nach der geologischen Karte (Abb. 2) tritt an dieser Stelle ein Andesit auf, der die Anreicherung der o. g. Elemente im Boden verursacht haben kann. Da sich die Maxima im Oberboden abschwächen bzw. verschwinden, ist eine anthropogene Kontamination unwahrscheinlich.

Natrium (Na)

Die Natriumgesamtgehalte der Böden betragen im Durchschnitt zwischen 0,1 und 1,0 %, wobei die höchsten Gehalte in der Schluff-Fraktion der Böden auftreten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998).

Im Untersuchungsgebiet verhält sich das Element Natrium analog zum Kalium. Generell nehmen die Natriumgehalte von den organischen Auflagehorizonten über den Oberboden zum Unterboden hin zu.

In der organischen Auflage (Abb. 7.7-1) treten nördlich von Radebeul, Weinböhlä und Scharfenberg Natriummaxima auf. Eine Ursache kann die nicht exakte Probenahme und damit die Vermischung von mineralischen und organischen Bodenhorizonten sein, da die organischen Bodenhorizonte in der Regel keine Anreicherung von Natrium aufweisen.

Die Karten des Ober- (Abb. 7.7-2) und Unterbodens (Abb. 7.7-3) spiegeln im wesentlichen die Na-Gehalte in den Substraten wider. Die niedrigsten Natriumgehalte haben die Böden über zersetztem Plänermergel. Die höchsten Natriumgehalte treten in den Ober- und Unterböden aus Verwitterungsdecken über sauren bis intermediären Magmatiten und Metamorphiten auf.

Die Böden der rezenten Elbaue haben gegenüber den sie umgebenden Böden häufig geringere Natriumgehalte.

Phosphor (P)

Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) liegen die Phosphorgehalte in nicht zu tonarmen Böden zwischen 200 und 800 mg/kg. Der Phosphorgehalt in Böden steigt in der

Regel mit zunehmendem Ton- und Humusgehalt an, im Untersuchungsgebiet besteht eine gute Korrelation zwischen den Phosphor-, Humus- und Eisengehalten.

Tendenziell nehmen die Gesamt-Phosphorgehalte von der organischen Auflage (Abb. 7.8-1) über den Oberboden (Abb. 7.8-2) zum Unterboden (Abb. 7.8-3) hin ab.

In den Oberböden ist Phosphor häufig durch Vegetationsrückstände und Düngung angereichert. Die höheren Phosphorgehalte im Oberboden korrelieren deshalb mit den Flächen landwirtschaftlicher, (klein)gärtnerischer Nutzung und mit Flächen des Obstanbaus. Auch in den anthropogenen Böden der Städte sind die Phosphorgehalte häufig erhöht. Die hohen Phosphorgehalte in den Böden der Elbaue resultieren aus in die Elbe eingeleiteten kommunalen Abwässer.

Im Unterboden besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den Maxima der Elemente Phosphor und Eisen (vgl. Abb. 7.8-3 und Abb. 7.4-3). Eisenhydroxide in Böden enthalten oft höhere sorptive Anteile an Phosphor (RÖSLER, 1981).

4.4 Komplexinterpretation der Daten

Die Elementverteilung in den Böden des Untersuchungsgebietes wird in erster Linie durch deren Substrate und anthropogene Einflüsse geprägt.

Die Böden der Sandregionen haben in der Regel, unabhängig von der Leitbodenform, meist sehr niedrige Elementgehalte. Das wird einerseits durch das primäre niedrige Elementangebot der Sande andererseits durch die Tendenz zur verstärkten Auswaschung und Verlagerung von Elementen in diesen Böden verursacht.

Die Böden aus Geschiebedecksand nehmen durch ihren wechselnden Anteil an tonigen und schluffigen Bestandteilen im Elementangebot eine Stellung zwischen den Böden aus Sanden und den Böden über bindigeren Substraten ein.

Die Böden des Hügellandes aus quartären Deckschichten über Festgestein zeigen in Abhängigkeit von ihrem bindigen Anteil im Substrat ein differenziertes Elementverhalten. Durch die in diesem Gebiet stark wechselnden morphologischen Verhältnisse gestaltet sich die Interpretation der in die Fläche interpolierten Daten schwierig. Im Zusammenhang mit der früheren intensiveren Bewirtschaftung des Gebietes (Teichwirtschaft, z. T. Landwirtschaft und historische Besiedlung) können anthropogene Stoffeinträge (z. B. Probe westlich des Dippelsdorfer Teiches) auftreten.

In den Böden der Flußauen und Bachtäler kann es z. T. zu deutlichen Anreicherungen von Arsen und Schwermetallen kommen. Besonders ist davon die rezente Elbaue betroffen, in der z. T. die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte der

BBodSchV überschritten werden können. Auch die reliktschen Auenböden der Niederterrasse der Elbe zwischen Zschendorf, Niederau und Brockwitz haben häufig leicht erhöhte Elementgehalte. In diesem Gebiet kommt es entlang der Elbhänge und durch Anwendung von Spritzmitteln im Wein- und Obstbau zu einer zusätzlichen Anreicherung von Kupfer, Cadmium und Arsen in den Böden. Die nach ihrem Substrat schwermetallarmen Böden des Spaargebirges sind durch diese anthropogenen Stoffeinträge häufig in ihrer natürlichen Elementführung überprägt.

Die sich nach Nordwesten an die Böden der reliktschen Elbaue anschließenden Böden aus Umlagerungs- und Zersatz-Substraten des Plänermergels sind durch hohe pH-Werte und höhere Zink-, Nickel-, Fluor- und Quecksilbergehalte im Unterboden gekennzeichnet. Durch die in diesem Gebiet vorherrschende landwirtschaftliche Nutzung und Umlagerung von Sedimenten (ehemaliger Fürstenteich) kann es auch hier zu anthropogenen Einträgen kommen.

Die Böden aus Löß, Sandlöß und deren Derivate zeigen häufig Elementgehalte, die zwischen denen der Böden aus Sanden und denen der Böden aus tonig, lehmigen bis schluffigen Sedimenten liegen. Im Bereich der Ortslage Scharfenberg kommt es durch die dort vorhandene Mineralisation und deren Aufbereitung zu Arsen-, Cadmium-, Quecksilber-, Nickel-, Blei- und Zinkanreicherungen, von denen z. T. alle Bodenhorizonte und die Böden der angrenzenden Vorfluter betroffen sind. Die sich nach Süden anschließenden Fahlerden unterscheiden sich von den angrenzenden Braunerden und Parabraunerden durch pedogene Verlagerung von Eisen und Mangan in tiefere Bodenhorizonte.

Durch die intensive Bebauung im Elbtal und einer Vielzahl an ansässigen Industriezweigen und damit verbundenen Emissionen kommt es häufig zu einer Störung der natürlichen Bodenverhältnisse und zu unterschiedlichen ubiquitären Einträgen von Schadstoffen über den Luft- und Wasserpfad. In den organischen Auflagehorizonten wird besonders das Element Blei angereichert.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse (K-Means-Cluster, normierte Z-Werte) spiegeln geogene und anthropogene Elementverteilungen im Untersuchungsgebiet wider. Im Oberboden (Abb. 8.1) bilden das Cluster 1 ausschließlich Proben der rezenten Elbaue. Diese Proben unterscheiden sich durch ihre Kontamination von allen anderen Proben im Untersuchungsgebiet. Im Unterboden (Abb. 8.2) fallen die Proben am Dippelsdorfer Teich, am Heidehof, in den Ortslagen Neusörnwitz, Coswig, Scharfenberg und nordöstlich Röhrsdorf auch in das Cluster 1. Diese Proben weisen im Unterboden Maxima (meist nur punktuell) verschiedener Elemente auf, welche auf eine anthropogene Kontamination bzw. auf extreme geogene Anreicherungen (z. B. Mineralisationen) schließen lassen.

Das Cluster 2 wird im Oberboden von den Proben der Böden aus Löß, der Böden der Flußauen und Bachtäler aus überwiegend lehmigen Substraten, der Böden aus Umlagerungs- und Zersatz-Substraten des Plänermergels und eines Teils der anthropogenen Böden gebildet. Zwei Proben bei Scharfenberg liegen im Oberboden ebenfalls in Cluster 2. Das läßt darauf schließen, daß sich der Einfluß der Mineralisation im Oberboden noch nicht so stark bemerkbar macht.

Die Hortisole aus Sand, die durch ihre Düngung im Oberboden z. T. in Cluster 2 lagen, gehören im Unterboden zum Cluster 5. In dieses Cluster fallen im Unterboden auch die wasserbeeinflußten Böden (Gleye, Pseudogleye) aus überwiegend sandigen Substraten.

Die Böden aus Sandlöß, aus Heidesanden und aus flachgründigen Verwitterungsdecken über Granodioriten bzw. Syenodioriten gehören im Ober- und Unterboden größtenteils zum Cluster 4.

Im Cluster 3 sind im Oberboden nur wenige, stark anthropogen beeinflusste Proben (am Dippelsdorfer Teich, südlich Auer und am Elbufer nach den Ortslagen Scharfenberg und Sörnwitz) und 2 Proben südlich und nordöstlich von Niederau. Im Unterboden sind im Cluster 3 ca. die Hälfte der Proben der rezenten Elbaue, deren Grad bzw. Art der Belastung sich von den anderen Auenproben unterscheidet.

5 **Schlußfolgerungen und Ausblick**

Durch den rasterbedingten Probenahmeabstand von 1 000 m x 1 000 m kann nur eine übersichtsmäßige Abschätzung der Elementgehalte im Untersuchungsgebiet erreicht und keine Einzelfallaussage getroffen werden. Entsprechend dem Aufnahmemaßstab (ca. 1 : 100 000) konnten keine großflächigen Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte festgestellt werden.

Für die Beurteilung möglicher Gefährdungspfade kommt den Elementen Arsen, Cadmium und untergeordnet Kupfer und Blei besondere Bedeutung zu.

Die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte des BBodSchV für den Wirkungspfad Boden → Mensch und Boden → Nutzpflanze können im Untersuchungsgebiet in Einzelfällen überschritten werden. Eine generelle Verdichtung der Probenahme im Untersuchungsgebiet erscheint jedoch wegen des relativ geringen Gefährdungspotentials jedoch als nicht sinnvoll.

Eine besondere Beachtung verdienen die Böden der rezenten Elbaue, deren Belastung durch Arsen und Schwermetalle häufig über der der anderen Bodengesellschaften liegt. Einer gärtnerischen und landwirtschaftlichen Nutzung der Böden der rezenten Elbaue ist wegen dem lokal hohen Anteil von

mobilen Schwermetallgehalten am Gesamtelementgehalt kritisch gegenüberzustehen. Hier sollten weitere Untersuchungen erfolgen (Datendichte 10 Proben/km²) und ggf. eine einzelfallbezogene Prüfung der Wirkungspfade durchgeführt werden. Weiterhin ist zu beachten, daß der bei Bau- bzw. Renaturierungsarbeiten anfallende Boden- bzw. Sediment-aushub aus den Elbe-Überflutungsgebieten nach dem Verschlechterungsgebot nicht in weniger belastete Gebiete verbracht werden darf. Vor Beginn dieser Maßnahmen muß eine Klärung der Verwertungsmöglichkeiten der anfallenden Aushubmassen erfolgen.

Anomalien, die bisher durch die im Untersuchungsgebiet bekannten geologischen, bodenkundlichen und anthropogenen Verhältnisse nicht erklärbar sind (z. B. Probe westlich des Dippelsdorfer Teiches), bedürfen einer verdichtenden Probenahme.

6 Literatur

- ALEXOWSKY, W.; WOLF, L.; KURZE, M. & TRÖGER, K.-A. (1997): Geologische Karte des Freistaates Sachsen. Erläuterungen zu Blatt 5049 Pirna. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie Freiberg.
- BACHMANN, CR.; BANNICK, C.-G.; GIESE, E.; GLANTE, F.; KIENE, A.; KONIETZKA, R.; RÜCK, F.; SCHMIDT, S.; TERYTZE, K. & BORRIES, D. (1997). Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundesbodenschutzgesetzes. - Handbuch Bodenschutz 24. Lfg. IX/97, Nr. 3500, Berlin: E. Schmidt.
- BERNHARDT, A.; HAASE, G.; MANNSFELD, K.; RICHTER, H. & SCHMIDT, R. (1986): Naturräume der sächsischen Bezirke. - Sächs. Heimatblätter 32, H. 4 u. 5, S. 145-228.
- BEUGE, P. & ULIQUE A. (1997): Stoffliche Belastung von Auenböden. - Abschlußbericht des i. A. d. Sächs. Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung geförderten Forsch.-vorhabens, TU Bergakademie Freiberg.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1997a): Ableitung von Bodenwerten. Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten. - unveröff. Entwurf für die fachlichen Inhalte einer Verordnung zur Durchführung des Bundesbodenschutzgesetzes vom 09.05.1997, Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1997b): Ableitung von Bodenwerten. Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten. - unveröff. Entwurf für die fachlichen Inhalte einer Verordnung zur Durchführung des Bundesbodenschutzgesetzes vom 28.05.1997, Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1998): unveröffentl. Entwurf Verordnung zur Durchführung des Bundesbodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung - BodSchV) vom 01.09.1998, Bonn.
- BUND-/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (1997): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfadens Bodenverunreinigungen/Altlasten - Pflanze. - unveröff. Ber. der ad-hoc-AG „Schwermetalltransfer Boden/Pflanze“ des AK „Bodenbelastung“.
- BUNDESVERBAND BODEN (BVB) (1999): Ökochemische Charakterisierung von Waldböden als Pflanzenstandort und als Bestandteil des Wasserkreislaufes. - BVB-Informationen, H. XX, Berlin.
- DELSCHEN, T. & RÜCK, F. (1997): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung von schwermetallbelasteten Böden im Hinblick auf den Pfad Boden/Pflanze. - Bodenschutz, H. 4, S. 114-121.
- EIKMANN, T.; FRITSCHKE, W.; GROSSMANN, G.; KLOKE A.; LEK, H.-O. & TRAULSEN B.-D. (1991): Bodenverunreinigungen. - Gesundheit und Umwelt, H. 11, Europäische Akademie für Umweltfragen e. V., Tübingen.
- EIKMANN T. & KLOKE, A. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden. - In: ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. & HARREß, H.-M (Hrsg.): Bodenschutz. - 14. Lfg. X/93, Nr. 3590, Berlin: E. Schmidt Verlag.
- HEILIGENHAUS, H.-M. (1995): Chrom in der Umwelt. - Wasser und Boden, 47, H. 5, S. 59-64.
- KARDEL, K.; RANK, G. & PÄLCHEN, W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen. - Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul.
- KUSCHKA, E. (1997): Atlas der Hydrothermalite des Vogtlandes, Erzgebirges und Granulitgebirges. - Geoprofil 7, Freiberg.
- LAI, L. T. (1978): Petrographische und geochemische Bearbeitung der sauren variszischen gang- und deckenförmigen Magmatite des Erzgebirges als Beitrag zur metallogenetischen Untersuchung. - Diss. Ernst-Moritz-Arndt Univ., Greifswald.
- MÜLLER, D. (1995): Erfassung und Bewertung von Bodenbelastungen durch anorganische Schadstoffe im Überflutungsgebiet Oberes Elbtal. - Dipl.-Arbeit, Martin-Luther-Univ., Halle.
- MÜLLER, D. & RAUER, H. (1997): Anorganische Schadstoffbelastungen der Böden des Überflutungsgebietes Oberes Elbtal. - Wasser und Boden, 49. Jahrg., H. 2, S. 15-20
- NIESE, S., GLEISBERG, B. & BOTHE, M. (1987): Nukleare Analysenverfahren zur Untersuchung des Manteleinflusses auf die Gesteinsbildung und Elementanreicherung in der Elbtalzone. - unveröff. Ber. Zentralinstitut für Kernforschung, Rossendorf.
- NÖLDECKE, W.; SCHUST, F.; LÄCHELT, A.; STEINIKE, K.; GROSCHE, G.; THOMAS, U.; PÖTZSCH, B.; RENTSCH, J.; BERGER, W.; RÖLLIG, G.; SÖLLIG, A.; KRUSE, B. & METTCHEN, J.-J. (1988): Einschätzung Rohstoffführung Grundgebirgseinheiten S-Teil der DDR 1 : 100 000, Lausitzer Scholle-Elbezone (LEZ). - unveröff. Ber. Zentr.

Geol. Inst., Berlin.

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

RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W.; SYMMANGK, R. & WEIDENSDÖRFER, H. (1997): Bodenmeßnetz Ehrenfriedersdorf. - Materialien zum Bodenschutz, Sächs. 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, Radebeul.

REIMANN, C. & CARITAT, P. (1998): Chemical Elements in the Environment. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

RÖSLER, H.-J. (1981): Lehrbuch der Mineralogie. - 2. Aufl., Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

RUPPERT, H. (1987): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie die ihr Verhalten beeinflussenden Bodeneigenschaften. – Beilage zum GLA-Fachbericht, Heft 2, Bayer. Geolog. Landesamt.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (SML) (1995): Waldschadensbericht 1995. - Sächs. Landesanst. f. Forsten, Graupa.

SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. - 14. Aufl., herausgegeben v. SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K.-H. & SCHWERTMANN, U., Stuttgart: Enke Verlag.

STEDING, D. (1994): Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen 1 : 50 000. Bl. Dresden (2668). - 1. Aufl., Sächs. Landesamt für Umwelt und Geologie, Ber. Boden und Geologie, Freiberg.

STREIT, B. (1991): Lexikon Ökotoxikologie. – Weinheim, New York, Basel, Cambridge: H. Verlagsgesellschaft mbH.

UMEG GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN MBH (1995): Immissionsmessungen im Oberen Elbtal. - Karlsruhe.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (UMBW) (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe). - In: Gemeins. Amtsbl. Baden-Württemberg, H. 30, S. 1029-1036, Stuttgart.

WAGENBRETH, O. & WÄCHTLER, E. (Hrsg.) (1988): Der Freiburger Bergbau – Technische Denkmale und Geschichte. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Bodengesellschaften im Untersuchungsgebiet
Tab. 2:	Mittlere Spurenelementgehalte (P50) in ausgewählten Gesteinen des Untersuchungsgebietes
Tab. 3:	Mittlere Elementgehalte (P50) in den Leitbodengesellschaften des Untersuchungsgebietes.....
Tab. 4:	Hintergrundwerte, Prüfwerte und Belastungswerte für ausgewählte Schadstoffe in Böden (UMBW. 1993).....
Tab. 5:	Vorsorgewerte für Böden (BBodSchV, 1999), Metalle in Böden.....
Tab. 6:	Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden → Mensch, direkte Aufnahme (BBodSchV, 1999)..
Tab. 7:	Prüf- und Maßnahmenwerte für den Stoffübergang Boden → Nutzpflanze (BBodSchV, 1999).

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Bodenmessnetze und Bodendauerbeobachtungsflächen des Freistaates Sachsen
Abb. 2:	Vereinfachte geologische Karte
Abb. 3:	Vereinfachte Bodenkarte.....
Abb. 4:	Karte der Bodennutzung
Abb. 5:	Lage der Probenahmepunkte.....
Abb. 6.1-1:	pH-Wert in der organischen Auflage
Abb. 6.1-2:	pH-Wert im mineralischen Oberboden
Abb. 6.1-3:	pH-Wert im Unterboden
Abb. 6.2-1:	Arsen in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.2-2:	Arsen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.2-3:	Arsen im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.3-1:	Bor in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.3-2:	Bor im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.3-3:	Bor im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.4-1:	Beryllium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.4-2:	Beryllium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.4-3:	Beryllium im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.5-1:	Wismut in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.5-2:	Wismut im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.5-3:	Wismut im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.6-1:	Cadmium in der organischen Auflage

	(Totalgehalte).....		(Totalgehalte).....
Abb. 6.6-2:	Cadmium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 6.17-3:	Vanadium im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.6-3:	Cadmium im Unterboden (Totalgehalte).....	Abb. 6.18-1:	Wolfram in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.7-1:	Chrom in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 6.18-2:	Wolfram im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.7-2:	Chrom im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 6.18-3:	Wolfram im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.7-3:	Chrom im Unterboden (Totalgehalte).....	Abb. 6.19-1:	Zink in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.8-1:	Kupfer in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 6.19-2:	Zink im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.8-2:	Kupfer im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 6.19-3:	Zink im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.8-3:	Kupfer im Unterboden (Totalgehalte)	Abb. 7.1-1:	Kohlenstoff (C _{org}) in der organischen Auflage
Abb. 6.9-1:	Fluor in der organischen Auflage	Abb. 7.1-2:	Kohlenstoff (C _{org}) im mineralischen Oberboden.....
Abb. 6.9-2:	Fluor im mineralischen Oberboden	Abb. 7.2-1:	Aluminium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.9-3:	Fluor im Unterboden	Abb. 7.2-2:	Aluminium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.10-1:	Quecksilber in der organischen Auflage (Gesamtgehalte KW)	Abb. 7.2-3:	Aluminium im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.10-2:	Quecksilber im mineralischen Oberboden (Gesamtgehalte KW)	Abb. 7.3-1:	Calcium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.10-3:	Quecksilber im Unterboden (Gesamtgehalte KW)	Abb. 7.3-2:	Calcium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.11-1:	Mangan in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.3-3:	Calcium im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.11-2:	Mangan im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.4-1:	Eisen in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.11-3:	Mangan im Unterboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.4-2:	Eisen im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.12-1:	Molybdän in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.4-3:	Eisen im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.12-2:	Molybdän im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.5-1:	Kalium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.12-3:	Molybdän im Unterboden (Totalgehalte)	Abb. 7.5-2:	Kalium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.13-1:	Nickel in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.5-3:	Kalium im Unterboden (Totalgehalte)
Abb. 6.13-2:	Nickel im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.6-1:	Magnesium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.13-3:	Nickel im Unterboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.6-2:	Magnesium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.14-1:	Blei in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.6-3:	Magnesium im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.14-2:	Blei im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.7-1:	Natrium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....
Abb. 6.14-3:	Blei im Unterboden (Totalgehalte)	Abb. 7.7-2:	Natrium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.15-1:	Thallium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.7-3:	Natrium im Unterboden (Totalgehalte).....
Abb. 6.15-2:	Thallium im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 7.8-1:	Gesamt-Phosphor in der organischen Auf- lage
Abb. 6.15-3:	Thallium im Unterboden (Totalgehalte)	Abb. 7.8-2:	Gesamt-Phosphor im mineralischen Oberboden.....
Abb. 6.16-1:	Uran in der organischen Auflage (Totalgehalte).....	Abb. 7.8-3:	Gesamt-Phosphor im Unterboden
Abb. 6.16-2:	Uran im mineralischen Oberboden (Totalgehalte).....	Abb. 8.1:	Clusteranalyse mineralischer Oberboden (5 Cluster)
Abb. 6.16-3:	Uran im Unterboden (Totalgehalte).....	Abb. 8.2:	Clusteranalyse Unterboden (5 Cluster)
Abb. 6.17-1:	Vanadium in der organischen Auflage (Totalgehalte).....		
Abb. 6.17-2:	Vanadium im mineralischen Oberboden		

9 Abkürzungsverzeichnis

AAS	Atomabsorbtionsspektrometrie
AES	Atomemissionsspektrometrie
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BVB	Bundesverband Boden
EBodSchV	Entwurf Bodenschutzverordnung
GIS	Geographisches Informationssystem
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
KW	Königswasser
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft

SML	Bodenschutz Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten
UMBW	Umweltministerium Baden-Württemberg
UMEG	Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH

Einheiten

Masse-%	Masseprozent
mg/kg	Milligramm pro Kilogramm
$\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag

10 Daten- und Kartenteil