ARCHIVIERUNGSEXEMPLAR

UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 15/1997

Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick

Manfred Altermann, Reinart Feldmann,
Michael Steininger

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Projektbereich Naturnahe Landschaften
und Ländliche Räume

ISSN 0948-9452

UFZ-Bericht Nr. 15/1997

Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick

Manfred Altermann, Reinart Feldmann,
Michael Steininger

Archiv

Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung,
Bodenschutz Halle

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Projektbereich Naturnahe Landschaften
und Ländliche Räume

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Landwirtschaftliche Fakultät
Institut für Agrartechnik und Landeskultur

Inhalt:

1. Einführung 1
2. Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes 4
3. Methodik 9
4. Datenbasis, Datendefizite 12
5. Schwermetallgehalte in den Böden 19
6. Zusammenfassung 32
7. Literatur 35

1. Einführung

In einem Forschungsverbundprojekt[1] haben Wissenschaftler des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle zusammen mit Kollegen der Universitäten Halle und Leipzig sowie mit Unterstützung von Umweltbehörden und -büros Chancen und Risiken für eine nachhaltige Landnutzung in der sich rasch wandelnden Region Leipzig-Halle-Bitterfeld erforscht. Das Projekt REGNAL konzentrierte sich auf die eingehende Analyse der Umweltbelastungen und der Landnutzungssituation, auf die Einschätzung des Gefährdungspotentials von Schadstoffen in Böden und Gewässern sowie auf Regenerationsprozesse in Waldschadensgebieten und auf brachfallenden Landwirtschaftsflächen. Aufbauend auf den Ergebnissen wurden Methoden entwickelt, mit denen die Auswirkungen sich überlagernder Nutzungsinteressen (Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Wasserwirtschaft, Naherholung, Naturschutz etc.) bewertet werden können. Außerdem wurden zukunftsweisende Strategien für eine nachhaltige Landnutzung in den über weite Strecken von Industrie, Bergbau und Intensivlandwirtschaft geprägten Regionen entwickelt. Diese sind auf andere Gebiete Ostdeutschlands und Osteuropas übertragbar. Die Ergebnisse dieses vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Projektes wurden mittlerweile in Buchform publiziert (Feldmann et al. 1997).

Die Forschungsergebnisse zeigen, daß flächendeckende stoffliche Belastungen nicht vorliegen bzw. erheblich zurückgegangen sind und heute vorwiegend punktförmige Kontaminationsquellen Sorgen bereiten. Mit dem Rückgang der Luftbelastung haben sich auch die Forste im Naturpark Dübener Heide erholt. Allerdings zeichnet sich aktuell bereits wieder eine Trendumkehr ab, bedingt u.a. durch den Anstieg der Stickoxidkonzentrationen aufgrund des stark gestiegenen Verkehrsaufkommens. In bestimmten Gebieten bestehen für das Grundwasser und einige Auenlandschaften noch langfristige Probleme durch Schad- und Nährstoffbelastungen größeren Ausmaßes (Rückstände von Schäd-

---

[1] In den Jahren 1993-1996 wurde das Projekt REGNAL (Regeneration hochbelasteter Ökosysteme (Landschaften) für eine nachhaltige Landnutzung - der Ballungsraum Leipzig-Halle-Bitterfeld als Modellregion) vom BMBF gefördert unter dem Kennzeichen 0339419K.

lingsbekämpfungsmitteln, Abfallprodukte aus der chemischen Industrie der Region, Schwermetalle und Arsen, Überdüngung durch die Landwirtschaft).

Im Rahmen des Projektes wurde dem Quecksilber besondere Aufmerksamkeit geschenkt, das mit industriellen Abwässern jahrzehntelang in die Mulde gelangt ist und dort im Sediment lokal erhebliche Konzentrationen erreicht. Eine akute Gefährdung für Mensch und Umwelt konnte nicht festgestellt werden, da Hg und übrigens auch Xenobiotika (Rückstände der Lindan-Produktion) feste Bindungen mit schwerlöslichen Huminstoffen im Sediment eingehen. Jedoch muß die Freisetzungsdynamik und auch der Austrag flußabwärts zukünftig überwacht werden.

Als besonders hoch mit organischen Schadstoffen und Schwermetallen belastet erwies sich das Spittelwasser, ein Zufluß der Mulde bei Wolfen. Die Eigenschaften der Böden in diesem Gebiet tragen zur Mobilisierung von Cadmium, Zink, Chrom, Quecksilber und Blei bei, so daß in Bodenperkolaten hohe Konzentrationen nachgewiesen wurden. Da sich eine vollständige Sanierung in absehbarer Zeit nicht realisieren läßt, muß die Schwermetall-Mobilisierung, die stark vom pH-Wert und vom Gehalt der gelösten organischen Substanz im Boden abhängig ist, überwacht werden.

Hohe Schadstoffkonzentrationen haben in den Grünlandauen mancher Mulde-Abschnitte zu Nutzungseinschränkungen oder -verboten geführt. In diesem Zusammenhang weisen Zimmermann u. von Lengerken (1997) auf Probleme mit den herkömmlichen Prinzipien der Probennahme hin, wie sie durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten festgelegt wurden. Detailuntersuchungen in der Muldeaue ergaben, daß es Cadmium- und DDT-Kontaminationsnester gibt, die mit dem konventionellen Probenraster nicht erfaßt werden. Man kann deshalb zu falschen Ergebnissen gelangen, wenn allein aus der Überschwemmungsstufe und der flächenbezogenen Bodenkontamination, wie sie mit diesem Probenraster ermittelt wird, auf die Belastung des Weideaufwuchses geschlossen wird.

Generell gilt, daß besonders Cadmium im Hinblick auf die landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung von Pflanzen problematisch ist, da es eine hohe Mobilität im Boden aufweisen kann und leicht durch Pflanzen aufgenommen wird. Die Pflanzenverfügbarkeit ist wiederum stark von den Bodeneigenschaften abhängig. Pflanzen mit unterirdischen

Speicherorganen (z.B. Kartoffeln) nehmen deutlich weniger Cd und auch Arsen auf als z.B. Pflücksalat.

Im Rahmen des REGNAL-Projektes wurden auch Acker- und Forststandorte in der Dübener Heide hinsichtlich ihrer Schwermetallbelastung untersucht. Hintergrund ist der jahrzehntelange Eintrag von schwermetallhaltigen Flugaschen aus den Kraftwerken Zschornewitz und Muldenstein in die nordwestliche Dübener Heide. Die festgestellten Gehalte an Schwermetallen in den Äckern lagen weit unter den von Kloke (1980) vorgeschlagenen Grenzwerten. Die nur geringen Kontaminationen in den Humusauflagen von Kiefern- und Buchenbeständen stellen derzeit ebenfalls keine Gefahr dar.

Um die hier kurz skizzierten Detailergebnisse zur Schwermetallbelastung aus den Untersuchungen im Rahmen des REGNAL-Projektes richtig einordnen und bewerten zu können, war es erforderlich, für den mitteldeutschen Ballungsraum über die speziellen Untersuchungen hinaus, die Schwermetallgehalte in den Böden zusammenzustellen. Eigens hierzu wurde eine Studie angefertigt, in die bislang überwiegend unveröffentlichte Daten aus unterschiedlichen Qellen eingingen. Das Ergebnis sind Übersichtskarten, in denen länderübergreifend (REGNAL-Untersuchungsgebiet in den Ländern Sachsen und Sachsen-Anhalt; s. Abb. 1) die Elementgehalte in den Böden für Cadmium, Quecksilber, Blei und Kupfer dargestellt sind. Die wesentlichen Ergebnisse der Studie werden nun in Form dieses UFZ-Berichtes veröffentlicht, um sie allen mit Umweltplanung und -sanierung befaßten Personen und Institutionen zugänglich zu machen.

2. Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes

Die Abgrenzung des Untersuchungsraumes geht aus den Kartenabbildungen (Abb. 1-6, 8-11) hervor. Er umfaßt Gebiete der Bundesländer Sachsen-Anhalt, Freistaat Sachsen, Freistaat Thüringen und Brandenburg. Damit sind die dominierenden Landschaften des mitteldeutschen Raumes einbezogen: Lößgebiete, Teile der Triaslandschaften, des Unterharzes und des Erzgebirges, das mittlere Elbtal, das südliche Flämingvorland sowie die Heidelandschaften. Im Bearbeitungsgebiet überwiegen die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Wald beschränkt sich auf die Düben-Dahlener Heide, den Fläming, Bereiche der Elbeniederung, die Triasumrandung des Thüringer Beckens und auf die Mittelgebirge und Ranbgebiete.

Das Quartär hat die heutige Oberfläche entscheidend geformt. In dieser Zeit wurden die Gesteine der rezenten Böden abgelagert bzw. überprägt. Im mitteldeutschen Raum war diese Periode gekennzeichnet durch einen mehrfachen Wechsel des Klimas. Arktische Verhältnisse wechselten mit warmgemäßigten. Während der Elster- und Saale-Kaltzeit stießen die nordischen Inlandeisgletscher bis in den Raum Halle-Leipzig vor, wovon markante Endmoränenzüge im Fläming, der Dübener Heide, zwischen Magdeburg und Halle sowie nördlich und nordöstlich von Leipzig Zeugnis ablegen. Die Ablagerungen aus dieser Zeit bestehen aus einer 10 - 100m mächtigen Folge von Flußschottern, Kiesen und Sanden mit eingelagerten sandig-schluffig-tonigen Geschiebemergeln sowie Bekkenschluffen. In der Weichsel-Kaltzeit haben die Eismassen den Untersuchungsraum nicht erreicht, jedoch lag dieser im Periglazialgebiet, wo die durch Frostwechselprozesse bedingten Umlagerungen und Überprägungen (Frostverwitterung, Denudation, Solifluktion und Kryoturbation) sowie äolische und deluviale Akkumulationen dominierten. Die präweichselzeitlichen Oberflächensedimente wurden aufbereitet und damit für die Bodenbildung entscheidend vorgeprägt sowie größtenteils durch äolische Sedimente bedeckt bzw. überformt. Durch die genannten periglaziären Prozesse entstanden die für Böden und deren Eigenschaften bedeutsamen periglazialen Deckschichten - auch Lagen genannt - die in mehrgliedriger Abfolge in einer Mächtigkeit von 1 - 2 m den vom Deckenbildungsprozeß unbeeinflußten Gesteinen auflagern.

Der Untersuchungsraum wird durch den Verlauf der nördlichen Lößgrenze zweigeteilt in das Lößgebiet und die lößfreie Altmoränenlandschaft. Die Lößgrenze verläuft etwa von Magdeburg nach Köthen und weiter in einem Bogen bis westlich von Bitterfeld nach Halle. Von hier aus ist sie dann südlich über Merseburg und in östlicher Richtung über Lommatzsch bis zum westlichen Elbtal zu verfolgen. Das südlich dieser skizzierten Grenze sich ausdehnende Lößgebiet weist Lößdecken in unterschiedlichen Mächtigkeiten von 0,5m bis z.T. 4 m auf, wobei im Durchschnitt 1 - 2 m mächtige Lösse dominieren. Am Rand der Mittelgebirge und in diesen selbst sind dagegen an der Oberfläche Lößderivate verbreitet. Das sind etwa 0,5 - 1 m mächtige schluffige und skeletthaltige Decken, deren Feinerde (insbesondere Schluff) überwiegend lößbürtig ist (Skelettlöß, Gebirgslöß). Andererseits kommen hier außerdem durch periglaziäre Aufbereitung, Umlagerung und äolischen Einfluß geprägte 1 - 1,5 m mächtige Gesteinsschutte und Fließerden in differenzierter Vertikalabfolge vor. Nördlich der Lößgrenze schließt sich ein unterschiedlich breiter Sandlößgürtel an, der südlich von Magdeburg 3 - 10 km breit ist, sich aber im Raum Halle-Leipzig und weiter in Nordsachsen wesentlich verbreitert und bis 30 km erreichen kann. Die Sandlößdecken sind überwiegend < 1 m mächtig und gegenüber Löß durch höheren Sandgehalt (> 20%) gekennzeichnet. Mit größerer Entfernung vom Lößgebiet gehen die äolischen Decken in 4 - 6 dm mächtige Geschiebedecksande über, die die Hochflächen der Altmoränenlandschaft prägen. In den Auen lagern über Flußkiesen sandige, lehmig-schluffige sowie auch tonige Auensedimente. Als Folge der Kohlegewinnung wurden in den Braunkohleabbaugebieten auf verritzten und unverritzten Flächen anthropogene Kippsubstrate aufgeschüttet. Deponien aus Abfällen und Abprodukten der chemischen Industrie sind im Umfeld der Industriebetriebe vorhanden.

Die Pedosphäre des Untersuchungsraumes zeigt einen sehr differenzierten Aufbau, der wesentlich sowohl im Wechsel der Verbreitung und Zusammensetzung weichselzeitlicher Decksedimente als auch in der unterschiedlichen vertikalen Substratabfolge begründet ist. Die klimatische Differenzierung sowie Vegetations- und Nutzungsgrenzen verursachten außerdem die unterschiedliche Bodenausbildung. Die Vielfältigkeit der Bodendecke kommt in dem breiten Spektrum der für das betrachtete Gebiet bedeutsamen Bodengroßlandschaften (BGL) und Bodengesellschaften zum Ausdruck (siehe Abb.1). Dominant ist die Bodengroßlandschaft der Lößbörden, in der die Schwarzerde-Bodengesellschaften

aus Löß sowie die Parabraunerde-Tschernoseme und Fahlerden/Parabraunerden aus Sandlöß vorherrschen. Diese Bodengroßlandschaft umfaßt somit u.a. das Schwarzerdegebiet Mitteldeutschlands, das sich in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Thüringen konzentriert. Die Schwarzerdegrenze verläuft in der genannten Bodengroßlandschaft etwa zwischen Halle und Leipzig (unter Einbeziehung der Parabraunerde-Tschernoseme), und sie ist im wesentlichen durch das Substrat verursacht, wobei die Klimabedingungen zur Bildungszeit der Schwarzerden die Entstehung dieser heutigen Reliktböden begünstigten. Durch Bergbau wurden innerhalb dieser Bodengroßlandschaft weite Schwarzerdegebiete devastiert und Kippen und Halden aufgeschüttet, auf denen Pararendzinen und Lockersyroseme vorherrschen.

In einem breiten Gürtel schließt sich südlich das Lößhügelland (BGL 6.3) mit Bodengesellschaften der Fahlerden/Parabraunerden aus Lössen und Lößderivaten über verschiedenen paläozoischen, triassischen und glazigenen Gesteinen an. Für die Triasdurchragungen sind allerdings Pararendzinen und Rendzinen typisch. Im sächsischen und ostthüringischen Lößhügelland sind auf Lössen und Lößderivaten auch Pseudogleye entwickelt, die im anhaltinischen nur lokal vorkommen. Hier prägen dafür aber außerdem Tschernoseme und Parabraunerde-Tschernoseme das Bodenmosaik.

Südlich dieser gekennzeichneten Lößlandschaften sind die Lößböden stärker mit anderen Substraten vergesellschaftet (BGL 7.2 und 9.1). Es handelt sich dabei um die Thüringer Triaslandschaften, wo Triassedimente eng mit Löß horizontal und vertikal verzahnen. Pelosole, Pelosol-Braunerden, Rendzinen, Pararendzinen, (podsolige) Braunerden, Pseudogleye sowie Fahlerden aus Löß über Triasbildungen dominieren.

Im Erzgebirge (BGL 10.2) entwickelten sich aus Verwitterungs- und Umlagerungsprodukten paläozoischer Gesteine - überwiegend mit Decken aus < 1m mächtigen Lössen oder Lößderivaten bzw. mit unterschiedlichen Lößbeimischungen - Fahlerden/Parabraunerden, Braunerden, Braunerde-Pseudogleye, Pseudogleye sowie Podsol-Braunerden. Im Unterharz (BGL 10.2) dominieren auf den Hochflächen 4 - 8 dm mächtige Lößderivate (skeletthaltiger Lößlehm = Skelettlöß oder Gebirgslöß) über Schiefern, Schluffsteinen und Konglomeraten Fahlerden/Parabraunerden sowie Braunerden.

Nördlich der durch Löß bzw. Lößeinfluß gekennzeichneten Bodengroßlandschaften werden in den Altmoränengebieten (BGL 4.1) u.a. die Landschaftseinheiten zwischen Mulde und Elbe und nördlich des Elbetals, der Fläming, erfaßt. Geschiebedecksand über glazigenen Bildungen (Geschiebemergel, Sande) ist die vorherrschende Substratabfolge. Bodengesellschaften mit Braunerden, Fahlerden/Parabraunerden, Pseudogleyen und Podsol-Braunerden sind für diese Gebiete prägend. Im Zerbster Land kommen lokal auf Decklehmen über tonigen Lokalmoränen Tschernosem-Pseudogleye vor, während auf den Fläming-Sandlössen Fahlerden und Braunerden überwiegen. In den sandigen Niederungen herrschen dagegen Gley-Bodengesellschaften vor. In diese Bodengroßlandschaft fällt auch das Gräfenhainichen-Muldensteiner Bergbaugebiet, wo auf den Kippen und Halden Regosole und Lockersyroseme aus sandig-lehmigen, z.T. kohlehaltigen Kippsubstraten ausgewiesen sind.

Das Gebiet der Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung (BGL 4.5) kennzeichnen Gleye unterschiedlicher Ausprägung und Niedermoorinseln sowie in den etwas höher gelegenen Randbereichen Podsole, Braunerde-Podsole und Podsol-Gleye die Bodengesellschaften. In der Elbeaue (BGL 2.1) dominieren Auenböden (Vegas, Vega-Gleye) und Gleye auf überwiegend lehmig-schluffigen Auensedimenten sowie Regosole bzw. schwach ausgeprägte Podsole auf Flugsanddecken. Weitere Bodengroßlandschaften haben im Untersuchungsraum keine flächenhafte Bedeutung.

Im Untersuchungsgebiet dominieren Standorte mit hohem bis sehr hohem Ertragspotential. Deshalb ist der mitteldeutsche Raum nicht nur durch die Industrie, sondern auch von der Intensivlandwirtschaft geprägt. In der Vergangenheit wurden die Böden regional in sehr unterschiedlichem Ausmaß, z.T. allerdings auch irreparabel geschädigt. Das betrifft insbesondere den Bodenentzug, wodurch nicht nur landwirtschaftliche Produktionsfläche devastiert wurde, sondern durch diese Eingriffe empfindliche Störungen im Gleichgewicht der verschiedenen Bodenfunktionen erfolgten. Bodenverdichtung und Bodenerosion sowie lokal begrenzte Schadstoffbelastung sind weitere wesentliche anthropogene Einwirkungen auf die Böden des Untersuchungsgebietes.

Den Untersuchungsraum durchziehen nicht nur die genannten geologischen und pedologischen Grenzen, sondern auch klimatisch ist er deutlich differenziert. Das Untersu-

chungsgebiet gehört zu einem großen Teil zum Mitteldeutschen Trockengebiet, das durchschnittlich jährliche Niederschlagssummen von < 500 mm aufweist. Es wird im Westen durch den Harz, im Norden durch die Colbitz-Letzlinger Heide, östlich durch den Fläming und die Dübener Heide, südlich etwa durch Weiße Elster und Saale und schließlich durch die Umrandung des Thüringer Beckens begrenzt. Das Trockengebiet ist gekennzeichnet durch eine negative klimatische Wasserbilanz, deren Extremwerte (< -100 mm) bei einer Fläche zwischen Saale und Mulde ausgewiesen werden, erreicht. Die Mobilität und Verlagerung von (Schad-)Stoffen hängen dabei nicht nur von deren Gehalten im Boden und von den Bodeneigenschaften, sondern auch entscheidend von den klimatischen Bedingungen ab.

3. Methodik

Kernstück und Schwerpunkt der Aufgabenstellung für die Studie war die bodenbezogene Auswertung der verfügbaren Daten. Hierfür stand die Datei des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und die bodenbezogenen Schwermetallgehalte für den Freistaat Sachsen zur Verfügung (s. unter Punkt 4). Aus der Datei des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und den ergänzend aufgenommenen Daten wurden in eine Arbeitsdatei nur die Analysendaten der Oberbodenproben (Ackerkrume) übernommen. Ist ein Entnahmepunkt durch mehrere Probenwiederholungen repräsentiert, so wurde aus diesen der Mittelwert gebildet. Die Ergänzung der genannten Datei mit weiteren Analysenwerten konnte nur mit koordinatenbezogenen Daten erfolgen (s. unter Punkt 4).

Die Punktdaten der Arbeitsdatei für Sachsen-Anhalt wurde über ein GIS den Bodenarealen zugeordnet. Dabei erfolgte eine Differenzierung des Datenpools. Neben einer flächenbezogenen Auswertung aller in der Arbeitsdatei für Sachsen-Anhalt gespeicherten Daten wurden in einem weiteren Bearbeitungsschritt die Daten aus Sonderuntersuchungen im Rahmen von Umweltstudien eliminiert. Für Sachsen-Anhalt konnten auch die Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach der Klärschlammverordnung genutzt werden. Die Werte wurden von der LUFA Sachsen-Anhalt als gewichtetes Mittel für Gemeinden des sächsisch-anhaltinischen REGNAL-Untersuchungsgebietes ausgewiesen. Aufgrund der Probennahmemethodik konnten diese Daten nicht in die Arbeitsdatei für Sachsen-Anhalt eingehen, und sie wurden gesondert ausgewertet. Für den sächsischen Bearbeitungsraum standen keine koordinatenbezogenen Daten zur Verfügung. Hier wurden die für Bodengesellschaften veröffentlichten Daten für das REGNAL-Bearbeitungsgebiet Sachsens übernommen (Barth et al. 1996).

Zur bodenbezogenen Auswertung der Schwermetalldaten wurde auf die jeweilige Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 400.000 (BÜK 400) für beide Bundesländer (Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt bzw. vom Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen digital zur Verfügung gestellt) zurückgegriffen. Die Verarbeitung gestaltete sich aus verschiedenen Gründen schwierig, da die genutzten Bodenkarten im Inhalt und in der Differenzierung nicht einheitlich sind. Für das Bearbeitungsge-

biet Sachsen-Anhalts weist die BÜK 400 eine Vielzahl von Kartierungseinheiten und somit von Einzelflächen (> 900) aus, wovon für ca. 50% keine Analysendaten vorliegen. Auf dieser Basis war eine bodenbezogene Auswertung der verfügbaren Daten nicht möglich. Deshalb war es erforderlich, die Kartierungseinheiten der BÜK 400 für den Bearbeitungsteil Sachsen-Anhalt zu aggregieren. Dies erfolgte nach bodenkundlichen Gesichtspunkten gemäß der Verwandtschaft bzw. dem Kontrast der Kartierungseinheiten. Durch die Zusammenfassung der Kartierungseinheiten gelang auch eine ausreichende Belegung der neu gebildeteten aggregierten Kartierungseinheiten mit Schwermetalldaten (Datenpool ohne Sonderuntersuchungen). Aus den 108 Kartierungseinheiten der BÜK 400 Sachsen-Anhalts wurden 28 aggregierte Kartierungseinheiten gebildet, wovon jede - abgesehen von einzelnen Ausnahmen - durch mindestens 10 Probenahmepunkte repräsentiert ist. Die vorgenommene Aggregierung der Kartierungseinheiten bedingt zwangsläufig deren unterschiedliches bodensystematisches Niveau. Dieser Nachteil mußte aber hingenommen werden, um zu einer bodenbezogenen Aussage der Schwermetalldaten zu kommen.

Für die den aggregierten Kartierungseinheiten der BÜK 400 Sachsen-Anhalts (Ausschnitt Untersuchungsgebiet) zugeordneten Schwermetallanalysen wurden Percentile berechnet. Die Percentile dienen nach den Vorschlägen der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) zur Charakterisierung von Schwermetallhintergrundwerten und deren Verteilung. Dieser LABO-Vorschlag basiert auf der Tatsache, daß die Datenkollektive in der Regel nicht normalverteilt sind. Quantile haben außerdem den Vorteil, daß sie unempfindlich gegen Ausreißer sind und die Werte „kleiner-als-Nachweisgrenze" sinnvoll ausgewertet werden können. Die 90er Percentile werden allgemein zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte herangezogen.

Für die Schwermetalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink erfolgte eine für Sachsen-Anhalt und Sachsen auf das Untersuchungsgebiet bezogene flächendeckende und bodenbezogene Aussage auf der Basis der 90%-Schwermetallgehalts-Percentile und der Differenzierung der Schwermetallgehalte nach dem Bodenwert (BW) I, II und III gemäß den nutzungs- und schutzbezogenen Orientierungswerten für (Schad-)Stoffe in Böden nach Eikmann u. Kloke (1991). Die Angaben für die genannten Bodenwerte sind für landwirtschaftliche

Nutzflächen ausgewiesen. Der Bodenwert III ist dabei die Grenze, über der Schäden an Schutzgütern möglich sind. Bei Überschreitung des Bodenwerts III sind Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

4. Datenbasis, Datendefizite [2]

Die Auswertung der Schwermetalldaten innerhalb des Untersuchungsraums wurde für die Böden der Länder Sachsen-Anhalt und Sachsen vorgenommen, und sie beschränkt sich im wesentlichen auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Lediglich bei den Sonderuntersuchungen im Rahmen von Umweltstudien Sachsen-Anhalts sind z.T. Forstflächen einbezogen. Dabei wurde keine komplette Datensammlung und Verarbeitung angestrebt, da dies mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht erreichbar war. Sie beschränkte sich von vornherein auf verfügbare und nutzbare Daten mit der Maßgabe, eine weitgehend gesicherte bodenbezogene Übersichtsaussage zu erreichen. Bei der durchgeführten Literaturrecherche erfolgte die Beschränkung auf Daten mit regionalem Bezug, Koordinatenangaben und angegebener Analysenmethodik. Erreichbare Daten ohne die genannten Voraussetzungen wurden lediglich zur verbalen Einschätzung herangezogen.

Im mitteldeutschen Raum erfolgten seit den 80er Jahren aber besonders seit 1990 eine Vielzahl von Schadstoffuntersuchungen. Schwerpunkte bildeten dabei der Landkreis Bitterfeld und das Mansfelder Land. Über Teilgebiete des Untersuchungsraumes liegen veröffentlichte Ergebnisse vor (Barth et al. 1996, Feldhaus et al. 1996). Eine länderübergreifende Übersicht zu den Schwermetallgehalten in den verschiedenen Böden/Bodengesellschaften besteht für den mitteldeutschen Raum bisher jedoch noch nicht. Durch Auswertung aller derzeit zugänglichen Daten wurde nun versucht, diese Lücke zu schließen.

---

[2] Für die Auswertung und Zusammenstellung konnte auf folgende Daten für den Untersuchungsraum zurückgegriffen werden: Auszug aus der Bodenprobendatenbank des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt; Schwermetalldaten für Böden des Kreises Querfurt (aus Altermann et al. 1995); Schwermetalldaten des Halleschen Raumes (Zierdt 1991); Bodenuntersuchungsergebnisse des Klärschlammkatasters der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Sachsen-Anhalt (Analysenergebnisse von Bodenuntersuchungen 1993 und 1994 nach AbfKlärV); Daten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (Barth et al. 1996 - diese Daten gehen zurück auf Suntheim u. Bufe 1993, Laves et al. 1992, Pälchen et al. 1996). Den genannten Institutionen sei für die Datenbereitstellung herzlich gedankt. An der Bearbeitung der Studie hat Frau Dr. Kindler von der Sektion Angewandte Landschaftsökologie des UFZ in dankenswerter Weise durch Bearbeitung von Kartenmaterial mitgewirkt.

Das Datenmaterial aus unterschiedlichen Quellen ist unterschiedlich auswertbar. Als generelle Nachteile für eine komplexe Auswertung sind u.a. zu nennen:

- Anwendung unterschiedlicher Analysenmethoden;
- fehlende Dokumentation der Analysenmethoden;
- fehlender Bezug der Schwermetalldaten zu Bodenparametern;
- fehlende genaue Ortsangabe der Probenahmen (Koordinaten).

Diese Nachteile wurden überwiegend bei der Auswertung von Einzelveröffentlichungen (Teilergebnisse von Forschungsarbeiten) erkannt.

Für das Bearbeitungsgebiet Sachsen-Anhalts wurden folgende Daten mit Koordinatenbezug herangezogen:

- Daten der Bodendatenbank des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle. Diese Bodendatenbank enthält folgende Daten:
    1. Ergebnisse der Sonderuntersuchungen in ausgewählten Belastungsgebieten seit 1990,
    2. Ergebnisse des Bodenbeobachtungssystems des Landes Sachsen-Anhalt (Boden-Dauerbeobachtungsflächen und zugehörige Referenzstandorte),
    3. Daten der Bodenuntersuchungen im Rahmen öffentlich finanzierter Umweltstudien aus dem Zeitraum 1990-1994,
    4. Schwermetalldaten der Systematischen Bodenuntersuchung des Agrochemischen Untersuchungs- und Beratungsdienstes der DDR (ACUB) aus dem Zeitraum 1985-1989. Dabei sind die Daten der Systematischen Bodenuntersuchung und der Sonderuntersuchungen Flächendaten, wo mehrere Probenahmen innerhalb einer Fläche zu einer Probe vereinigt wurden. Diese Flächendaten wurden den Koordinaten eines Punktes innerhalb der Fläche zugeordnet (nicht dem Flächenschwerpunkt; in der Datei des LAU Sachsen-Anhalt festgeschrieben). Dadurch kann es bei der durchgeführten bodenbezogenen Flächenaussage zu Abweichungen gegenüber den realen Verhältnissen kommen. Nach Untersuchungen von Altermann et al. (1995) werden durch Ackermischproben die realen Verhältnisse nur abgeschwächt wiedergegeben. Dieser Sachverhalt muß ebenfalls bei der Auswertung der ACUB-Daten berücksichtigt werden. Außer-

dem wurden die Schwermetalldaten der Systematischen Bodenuntersuchungen nicht im Königswasseraufschluß bestimmt, sondern mit 1,5n HNO_3. Der so extrahierte Anteil spiegelt den Gesamtgehalt in bestimmten, weitgehend konstanten Relationen folgendermaßen wider (nach Grün et al. 1993): Cd = 100%, Cr = 45%, Cu = 90%, Ni = 50%, Pb = 90%, Zn = 80%. Es wurden die in der Datei dokumentierten Originalwerte verarbeitet, eine Umrechnung erfolgte nicht, da lediglich bei Chrom und Nickel nur die Hälfte des Gesamtgehalts nach dem Königswasseraufschluß erreicht wird. Die ACUB-Daten repräsentieren nur einen Teil der Daten aus der Datei des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, so daß der „Fehler" sich in Grenzen halten dürfte. Insgesamt geht aber aus den vorgenannten Gründen der Datenpool des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt mit etwas zu niedrigen Gehalten in die Auswertung ein.

- Schwermetalldaten für Böden des Kreises Querfurt aus Altermann et al. (1995).
- Schwermetalldaten des Halleschen Raumes aus der Dissertation Zierdt (1991).

Die genannten Datenquellen für Sachsen-Anhalt gingen in die geschaffene Arbeitsdatei als Basis der flächen- und bodenbezogenen Auswertung ein. Für den REGNAL-Untersuchungsraum Sachsen-Anhalts wurden bei Verwendung aller o.g. Untersuchungen Analysendaten von 3.886 Proben ausgewertet, bei Eliminierung der aus den Sonderuntersuchungen und Umweltstudien gewonnenen Daten verblieben noch die Analysenwerte von 981 Proben. Die Lage der Probenahmepunkte aller Proben für die Schwermetalle Pb, Cd, Cu und Hg ist aus den Abbildungen 2 - 5 ersichtlich. Die Lage der Probenahmepunkte des reduzierten Datenpools (also ohne Sonderuntersuchungen der Umweltstudien) ist als Beispiel in Abbildung 6 wiedergegeben.

Darüber hinaus wurden die Bodenuntersuchungsergebnisse des Klärschlammkatasters der LUFA Sachsen-Anhalt genutzt. Der Auswertung liegen Analysenergebnisse von Bodenuntersuchungen nach AbfKlärV zugrunde, welche von der LUFA Sachsen-Anhalt 1993 und 1994 durchgeführt wurden. Die Schwermetallwerte beziehen sich auf Sammelproben von 3ha großen Beprobungseinheiten aus dem Ap-Horizont landwirtschaftlich genutzter Böden (Untersuchung im Königswasseraufschluß). Die Auswertung erfolgte

auf Gemeindebasis. In den Wert für die jeweilige Gemeinde gingen die anhand der Schlagfläche gewichteten mittleren Schwermetallgehalte der Schläge ein. Es ist zu beachten, daß im Klärschlamm-Kataster nur solche Bodenuntersuchungsergebnisse erfaßt sind, welche die Grenzwerte nach AbfKlärV beinhalten, also bereits eine Vorauswahl und Eliminierung ggf. kontaminierter Proben erfolgte. Die Daten dürften somit im wesentlichen die Hintergrundwerte repräsentieren.

Für das Bearbeitungsgebiet des Freistaates Sachsen wurden zur flächen- und bodenbezogenen Auswertung die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg, bereitgestellten Daten von Barth et al. (1996) herangezogen. Diesen Daten liegen insgesamt 4.793 Proben zugrunde, die sich aber auf landwirtschaftlich genutzte Flächen des gesamten Freistaates Sachsen verteilen. Für das Untersuchungsgebiet im Freistaat Sachsen wurde im Unterschied zum sächsisch-anhaltinischen Bearbeitungsgebiet der für die Bodeneinheiten des gesamten Bundeslandes vorliegende Datenpool verwertet. Eine regionale Differenzierung für spezifische Räume (z.B. spezielle Werte für das Untersuchungsgebiet) konnte nicht erfolgen. Lediglich die Auenstandorte sind regional differenziert (vgl. Barth et al. 1996). Dieser prinzipielle Unterschied ist bei der Beurteilung der Daten zu beachten: während für Sachsen-Anhalt eine Aussage für den spezifischen Untersuchungsraum möglich ist, repräsentieren die Daten Sachsens ein weitaus größeres Gebiet.

Die Untersuchungsdichte ist für den mitteldeutschen Raum unterschiedlich (Abb. 2-5). Die für das Bundesland Sachsen-Anhalt erfolgten Probenahmen konzentrieren sich insbesondere im Raum Eisleben-Hettstedt sowie in der Muldeaue. Es betrifft somit die Landschaftseinheiten Mansfelder Bergland, das Hettstedt-Eislebener Bergbaugebiet, sowie das Jeßnitz-Dessauer Muldental und das Bitterfelder Muldental. Das Sangerhäuser Hügelland, das Ziegelrodaer Plateau und die Querfurter Platte weisen ebenfalls noch eine relativ dichte Beprobung auf. Nur wenige Daten existieren dagegen für das Zerbster Ackerland, Hallenser Porphyrhügelland, Weißenfelser Lößhügelland und Bad Schmiedeberger Hügelland sowie für das Dessau-Magdeburger Elbetal.

Eliminiert man die Daten der Umweltstudien (Sonderuntersuchungen), so lichtet sich die Probenzahl in den extrem dicht untersuchten Gebieten ganz erheblich (s. Abb. 6), und

auch für die durch Umweltstudien intensiv untersuchten Gebiete ergibt sich dann eine weitgehend vergleichbare Beprobung mit den anderen sächsisch-anhaltinischen Räumen. Als bevorzugt untersuchte Räume stellen sich das Ziegelrodaer Plateau, die Querfurter Platte, das Nördliche Harzvorland, das Köthener Ackerland, das Halle-Brehnaer Ackerland sowie Teile des Elbetals und des Flämings heraus, was aber nicht bedeutet, daß jeweils alle Böden erfaßt bzw. mit vergleichbarer Intensität beprobt sind.

Die verfügbaren Daten wurden außerdem auf die verbreiteten Böden (Bodengesellschaften) bezogen. Danach sind in Sachsen-Anhalt - unter Ausschluß der Daten von Sonderuntersuchungen - die Schwarzerde-, Pararendzina-Bodengesellschaften aus Lößdecken, allerdings regional unterschiedlich, die Fahlerde-Braunerde-Bodengesellschaften aus Sandlöß sowie Fahlerden aus Lößdecken, außerdem die Pararendzinen aus Löß- und Triassedimenten und regional unterschiedlich die Auenböden am meisten beprobt. Kaum oder ungenügend untersucht wurden bisher die Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye aus Löß- und Sandlößdecken, Braunerde-Fahlerde-Bodengesellschaften aus Sanddecken (Geschiebedecksand) über Lehm, die Braunerde- und Fahlerde-Bodengesellschaften am Unterharzrand und im Unterharz, Parabraunerden aus Lößdecken, die Bodengesellschaften mit sandigem Deckensubstrat (Podsol-Braunerden, Podsole, Braunerde-Pseudogleye), Braunerde-Podsole im Verbreitungsgebiet paläozoischer Gesteine, Niederungs- und Kolluvialböden (Gleye und Humusgleye, Anmoore und Moore) sowie größere Areale der Auenböden.

Diese Aussagen über Defizite hinsichtlich der Untersuchung der Böden nach den Schwermetallgehalten können spezifiziert werden, wenn die Einzelflächen der aggregierten Bodengesellschaften der BÜK 400 für Sachsen-Anhalt hinsichtlich der Belegung mit Proben überprüft werden. Im Zuge dieses Arbeitsschritts wurden jene Flächen der aggregierten Bodengesellschaften ermittelt, die sich durch weniger als 10 Probenahmestellen ausweisen. Defizite bezüglich der Beprobung ergeben sich danach für folgende Bodengesellschaften in folgenden Landschaftseinheiten:

- Schkölen-Osterfelder Lößhügelland, Weißenfelser Lößhügelland: Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye aus Löß, Parabraunerde-Schwarzerden aus Löß, z.T. Schwarzerden aus Löß;

- Weißenfels-Zeitzer Bergbaugebiet und Lützener Platte: Schwarzerden aus Löß;
- Freyburg-Eckartsbergaer Hügelland und Schrecke-Finne-Hügelland: Fahlerden aus Lößdecken, Pararendzinen aus Skelettlößdecken, Schwarzerden aus Löß;
- Halle-Brehnaer Ackerland im südlichen Teil: Schwarzerden aus Sandlößdecken;
- Röblingen-Teutschenthaler Bergbaugebiet und Östliches Harzvorland im östlichsten Teil: Schwarzerden aus Löß, Pararendzinen aus Skelettlöß, Pseudogley-Schwarzerden;
- Unterharz: Braunerden und Fahlerden aus Skelettlößdecken; außerdem Pseudogleye und Pseudogley-Gleye
- Östliches Harzvorland: Schwarzerden aus Löß;
- Hallenser Porphyrhügelland: Schwarzerden aus Löß, Pararendzinen aus Löß;
- nördlicher und westlicher Teil des Köthener Ackerlands: Schwarzerden aus Löß;
- Gräfenhainichen-Muldensteiner Bergbaugebiet und Bad Schmiedeberger Hügelland: Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand, Braunerde-Pseudogleye und Braunerde-Fahlerden aus lehmigen Sanddecken über Lehm; Braunerden und Braunerde-Fahlerden aus lehmigen Sanddecken über Sand oder Lehm;
- Annaburger Heide: Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand;
- Zerbster Ackerland: Pseudogley-Schwarzerden, Braunerde-Gleye und Podsol-Gleye, Humusgleye und Anmoorgleye, Braunerde-Pseudogleye und Braunerde-Fahlerden aus lehmigen Sanddecken über Sand oder Lehm;
- Mittelfläming: Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand; Humusgleye und Anmoorgleye aus Sand oder Lehm sowie Moore;
- Ostfläming: Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand, Braunerden und Braunerde-Fahlerden aus lehmigen Sanddecken über Sand oder Lehm, Braunerde-Pseudogleye und Braunerde-Fahlerden aus lehmigen Sanddecken über Lehm;
- Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung: Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand; Gleye und Humusgleye aus Sand;
- alle Kippenböden.

Als Schwerpunkte künftiger Beprobungen für anorganische Schadstoffuntersuchungen sind demnach im dargestellten Untersuchungsraum Sachsen-Anhalts zu nennen: das südliche Lößgebiet (Pseudogleye, Griserden, Schwarzerden), die Triaslandschaft (Fahlerden,

Pararendzinen, Schwarzerden), der Raum Halle-Köthen (Sandlößböden, Porphyrkomplex, Schwarzerden), die Schwarzerden des Östlichen Harzvorlandes, der Unterharz, die Sandgebiete außerhalb des Lößgürtels (Heidegebiete, Fläming), die Niederungen im östlichen Sachsen-Anhalt, die schwarzerdeähnlichen Böden im Raum Zerbst sowie alle Kippenstandorte.

Für den sächsischen Untersuchungsraum kann aus den verfügbaren Angaben (Anzahl der Beprobungen für die ausgewiesenen Bodengesellschaften) abgeschätzt werden, daß die Böden aus sandigen Substraten (Braunerden aus periglaziären Sanden, Pseudogleye aus flachen periglaziären Sanden) sowie Schwarzerden aus Sandlöß im Vergleich zu den anderen Bodengesellschaften geringer mit Analysendaten belegt sind.

5. Schwermetallgehalte in den Böden

Geogene Differenzierungen und verschiedene anthropogene Stoffeinträge führen zu ungleichen (Schad-)Stoffgehalten im Boden. Antropogene Stoffeinträge finden statt

- durch Bodennutzung (Landwirtschaft, Forstwirtschaft),
- im Überschwemmungsbereich der Gewässer,
- durch Ausbringung von Abprodukten (z.B. Klärschlamm),
- durch atmosphärische Deposition.

Im Ballungsraum Leipzig-Halle-Bitterfeld geht die Belastung der Böden über das durch übliche Bodennutzung verursachte Maß hinaus. Verantwortlich dafür sind insbesondere direkte Kontaminationen in den Industriekomplexen, Einträge im Überschwemmungsbereich der Gewässer und atmosphärische Depositionen.

Die Überschreitung des Schwermetall-Bodenwerts I, II und III bei Auswertung aller für den Untersuchungsraum Sachsen-Anhalts verfügbaren Proben sowie der Analysendaten unter Eliminierung des Datenpools der Sonderuntersuchungen (Umweltstudien) wurde landschaftsbezogen dokumentiert (Tabelle 1).

In den Abbildungen 2 - 5 sind die nach den Bodenwerten klassifizierten Gehalte für Blei, Cadmium, Kupfer und Quecksilber aller ausgewerteten Proben und damit auch die Belastungsgebiete beispielhaft dargestellt. Die dokumentierten Resultate stimmen mit den bereits bekannten Ergebnissen überein, daß im wesentlichen einige Gebiete des Mansfelder Berglandes und Hettstedt-Eislebener Bergbaugebiets, der Muldentäler (Bitterfelder Industriegebiet) und z.T. auch des Saale-Elstertals als mit Schwermetallen belastet gelten können (z.B. CUI 1996, Opp 1993, Opp u. Hanschmann 1993, Opp 1996). Außerhalb dieser genannten Räume sind nur einzelne lokale Überschreitungen der Bodenwerte durch die ausgewerteten Probenahmen belegt.

Tabelle 1: Überschreitungen der Bodenwerte in Landschaften des REGNAL-Untersuchungsgebiets Sachsen-Anhalts; + = einschließlich der Proben von Sonderuntersuchungen (Umweltstudien), - = ohne Proben der Sonderuntersuchungen (Umweltstudien)

Elemente		Bodenwert (BW) - Überschreitungen in Landschaften		
	+/-	BW I	BW II	BW III
Pb	+	Muldetäler; lokal Raum Halle-Merseburg; lokal Elbe-, Saale-, Elstertal	Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; lokal Muldetäler	
	-	lokal Elbetal u. Muldetäler		
Cd	+	Sangerhäuser Hügelland; Unterharz	Muldetäler; Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; lokal Raum Halle-Merseburg; lokal Östliches Harzvorland; lokal Elbe-, Saale- und Elstertal; lokal Unstrut-Helmeniederung; lokal Raum Bernburg-Staßfurt	
	-		lokal Elbe-, Elstertal und Muldetäler	
Cu	+		Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; Sangerhäuser Hügelland; lokal Östliches Harzvorland; lokal Unterharz; lokal Raum Bernburg-Staßfurt; lokal Elbe-, Saale- und Elstertal; lokal Unstrut-Helmeniederung	
	-		Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; Sangerhäuser Hügelland; lokal Östliches Harzvorland; lokal Elbetal	
Ni	+	lokal Mansfelder Bergland; lokal Elbe-, Saale- und Elstertal; lokal Muldetäler		
	-			
Cr	+	Muldetäler; lokal Mansfelder Bergland; lokal Elbe-, Saale- und Elstertal;		
	-	lokal Elbetal		
Zn	+	Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; Muldetäler; lokal Raum Bernburg-Staßfurt; lokal Unterharz; lokal Elbe-, Saale u. Elstertal		
	-		lokal Elbetal, Muldentäler, Elstertal	
Hg	+	Saale-Elstertal; Muldetäler; Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet; Sangerhäuser Bergland; Unstrut-Helme-Niederung	Muldetäler; Mansfelder Bergland; Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet	lokal Muldetäler; lokal Mansfelder Bergland; lokal Hettstedter-Eislebener Bergbaugebiet
	-			

Bezieht man die Schwermetallgehalte aller Proben auf die Böden (aggregierte Kartierungseinheiten der Bodenkarte) Sachsen-Anhalts, so sind für folgende Bodengesellschaften Überschreitungen der Bodenwerte belegbar:

- Fahlerden, Pararendzinen aus Lößdecken, Pararendzinen, Braunerden, Fahlerden aus Skelettlößdecken sowie Schwarzerden aus Lößdecken im Mansfelder/Sangerhäuser Raum und angrenzenden Östlichen Harzvorland;
- Auenböden aus Auenlehm in der Elbe-, Saale-, Elster-, Mulde- sowie Helme-Unstrutaue;
- Auenböden und Gleye aus Auenlehmsand der Muldeaue.

Eliminiert man aus dem Datenpool für Sachsen-Anhalt die Proben der Sonderuntersuchungen (Umweltstudien, Proben der Belastungsgebiete), so sind bei Blei einzelne Überschreitungen des Bodenwerts I im Elbe- und Muldental nachgewiesen, Überschreitungen des Bodenwerts II beschränken sich bei Cadmium auf einzelne Punkte im Elbe- und Muldental (Abb. 6), während bei Kupfer Überschreitungen des Bodenwerts II im Mansfelder Gebiet und z.T. auch im Elbetal ermittelt wurden. Bei Nickel treten praktisch keine Überschreitungen des Bodenwerts I auf, was auch im wesentlichen für Chrom gilt, wobei sich allerdings tendenziell einige Überschreitungen des Bodenwerts I für die Elbeaue abzeichnen. Quecksilber läßt praktisch keine Überschreitungen des Bodenwerts I erkennen, jedoch treten bei Zink einzelne Überschreitungen des Bodenwerts II in der Elbeaue und im Muldental auf. Einzelproben lassen sporadisch in der Nähe der Saaleaue Bodenwert III-Überschreitungen erkennen.

Für die den aggregierten Bodengesellschaften des Untersuchungsgebietes Sachsen-Anhalts zugeordneten Schwermetallanalysen wurden für die flächenbezogenen Auswertungen Percentile berechnet. In die Berechnung gingen die Daten aus Sonderuntersuchungen im Rahmen von Umweltstudien nicht ein. Die entsprechenden Daten für den Freistaat Sachsen liegen ebenfalls vor (Barth et al. 1996). Unter Zugrundelegung der regionalen Verbreitung der Bodengesellschaften können so die Schwermetall-Hintergrundgehalte detailliert interpretiert werden. Im sächsisch-anhaltinischen Untersuchungsgebiet überschreiten die Blei- und Cadmium-Hintergrundgehalte den BW I für die Bodengesellschaft Auenböden aus Auenlehmdecken. Bei den Bodengesellschaften der Humusgleye und

Anmoorgleye trifft das für Cadmium ebenfalls zu. Böden aus lößbeeinflußten Triassedimenten bzw. mit Triasanteil und Löß-Fahlerden haben offenbar einen höheren (geogen bedingten) Hintergrundwert für Cadmium gegenüber Schwarzerden und Bodengesellschaften aus sandigen Substraten. Andererseits sind die Niederungsböden unterhalb des Bodenwerts I gegenüber den anderen Böden deutlich erhöht. Die Hintergrundwerte für Kupfer liegen fast ausnahmslos bei allen Bodengesellschaften unter dem Bodenwert I bzw. II (bei Cu sind BW I und II identisch), jedoch ist das Untersuchungsgebiet deutlich differenziert. Die Böden auf den sandigen Hochflächen ohne Lößbedeckung, also Altmoränenstandorte, weisen die geringsten Cu-Hintergrundwerte auf, etwas höher liegen Lößböden, und am höchsten fallen die Werte für Auenböden aus Auenlehmdecken - in allen Fällen unterhalb des Bodenwerts I bzw. II - aus. Die gleiche Gebietsdifferenzierung trifft für Nickel und Zink zu. Beim Nickel sind die Bodengesellschaften des Südharzes, des Mansfelder Gebietes und die Pararendzinen aus Skelettlößdecken im Triasverbreitungsgebiet - ebenso wie die Auenböden - durch höhere Hintergrundgehalte gekennzeichnet, ohne den Bodenwert I zu überschreiten. Die Zinkgehalte übersteigen lediglich bei Auenböden aus Auenlehmdecken und bei Schwarzerde-Gleyen den Bodenwert I; höhere Gehalte unterhalb des Bodenwerts I treten in Gleyen aus (Auen-)Lehmsand, in Böden der Braunerde-Pseudogley- und Pseudogley-Bodengesellschaften, in Fahlerden aus Lößdekken sowie in Braunerden und Fahlerden aus Skelettlöß im Harzvorland auf (Einfluß der Trias). Die sandigen Böden (Braunerden und Braunerde-Fahlerden aus Decksand über Sand oder Lehm sowie Gleye und Humusgleye aus Sand) weisen die niedrigsten Chromgehalte auf.

Im sächsischen REGNAL-Untersuchungsgebiet überschreitet Blei in den Flußtälern mit Vegas und Auengleyen den Bodenwert I, ebenso bei Hangsandlehm-Braunerden des Erzgebirges (Bezeichnung der Bodengesellschaften nach der BÜK 400 des Freistaates Sachsen). Die Blei-Hintergrundgehalte aller anderen Bodengesellschaften bleiben unterhalb des Bodenwerts I. Den Bodenwert II für Cadmium überschreiten Vegas und Auengleye der Flußauen, den Bodenwert I die Hangsandlehm-Braunerden des Erzgebirges. Für Kupfer treten in den Flußgebieten Überschreitungen des Bodenwerts I auf, wobei auch erhöhte Werte für das Erzgebirge kennzeichnend sind, die aber den Bodenwert I bzw. II für landwirtschaftliche Nutzflächen nicht überschreiten. Erhöhte Nickelgehalte gegenüber

dem Bodenwert I sind für die Hanglehm-Podsol-Braunerden des Erzgebirges und dessen Randbereiche kennzeichnend. Der Bodenwert I für den Chromgehalt wird bei den gleichen Böden und bei den Sand-Braunerde-Podsolen der sandigen Heidelandschaften sowie in der Elbeaue (Vega, Auengley) überschritten. Bei Quecksilber treten Überschreitungen des Bodenwerts I in der Mulde- und Elsteraue sowie in den Erzgebirgszuflüssen mit Vegas und Auengleyen auf, wobei die Hintergrundwerte für die Elbeaue nahe an die Orientierungswerte für den Bodenwert I herankommen. Bei Zink übersteigen den Bodenwert I die Hanglehm-Podsol-Braunerden und die Hangsandlehm-Braunerden des Erzgebirges, die Vegas und Auengleye der Elbeaue sowie außerdem die Schwarzerden aus Löß. Überschreitungen des Bodenwerts II sind für das Mulde- und Elstertal sowie für die Täler der Erzgebirgszuflüsse nachweisbar.

Zusammenfassend lassen also die 90%-Percentile (Hintergrundwerte) der auf die Bodengesellschaften bezogenen Schwermetallgehalte für die Auenböden Sachsen-Anhalts Überschreitungen des Bodenwerts I bzw. erhöhte Hintergrundwerte erkennen. Für die sächsischen Auen werden für alle Schwermetalle z.T. wesentliche Überschreitungen der Orientierungsgehalte für die Bodenwerte I, II und III ausgewiesen. Die Böden im Verbreitungsgebiet paläozoischer und triassischer Gesteine Sachsen-Anhalts liegen im Hintergrundwert immer höher als Böden außerhalb dieser Räume. Das Erzgebirge und das unmittelbare Vorland zeichnet sich durch z.T. wesentlich höhere (geogen bedingte) Schwermetall-Hintergrundgehalte gegenüber den Hügel- und Flachländern aus. Relativ hohe Hintergrundwerte weisen auch die Gleyböden der Niederungen Sachsen-Anhalts außerhalb der Flußauen auf, obwohl kaum der Bodenwert I überschritten wird. Auffallend ist auch der relativ hohe (jedoch unter dem Bodenwert I) Hintergrundwert für einige Schwermetalle (z.B. Kupfer, Blei, Cadmium, Zink) bei Löß-Fahlerden - z.B. im Vergleich zu den Schwarzerden aus Löß. Die Böden aus sandigen Substraten sind im anhydromorphen Bereich allgemein mit sehr niedrigen Hintergrundwerten belegt.

Für das Bearbeitungsgebiet Sachsen-Anhalts konnten außerdem die 90%-Percentile der Schwermetallgehalte gemäß den Bodenuntersuchungsergebnissen nach der Abfall-Klärschlamm-Verordnung für landwirtschaftlich genutzte Flächen der Gemeinden zur Auswertung herangezogen werden. Die Pb-Gehalte liegen generell unterhalb des Boden-

werts I; sie lassen für einzelne Gemeinden zwischen Halle, Merseburg, Weißenfels, für Gemeinden des Raumes Aschersleben, Bernburg, Staßfurt sowie für Gemeinden zwischen Halle-Köthen-Bitterfeld und einige Gemeinden der Düben-Dahlener Heide höhere Gehalte unterhalb des Bodenwertes I erkennen. Analog liegen die Verhältnisse beim Cadmium und Kupfer. Für eine Gemeinde im Südharz ist - durch den Kupferschieferausstrich bedingt - der Bodenwert I für Kupfer überschritten. Auch bei Nickel ist der Bodenwert I nur in einer Gemeinde überhöht, jedoch haben im Südharz die Gemeinden höhere Werte (unterhalb des Bodenwerts I) gegenüber Gemeinden außerhalb dieses Raumes. Auch für Chrom kann dies bestätigt werden, und lediglich in einer Gemeinde nordöstlich von Halle übersteigt der Gehalt den Bodenwert I. Bei Quecksilber und Zink bleiben alle Gemeinden unterhalb des Bodenwerts I, auch hier liegen die genannten Gemeindegruppen im etwas höheren Bereich unterhalb des Bodenwertes I. Die auf Gemeinden Sachsen-Anhalts bezogenen Hintergrundwerte auf der Basis der Bodenuntersuchungen nach der Klärschlammverordnung lassen also den Schluß zu, daß die Orientierungsgehalte für den Bodenwert I im allgemeinen nicht überschritten werden, allerdings kommen auch einzelne geogen und anthropogen bedingte Überschreitungen vor. Die Gehalte unterhalb des Bodenwerts I zeigen jedoch für die Gemeinden ein recht differenziertes Bild, wobei dafür offenbar im wesentlichen geogene Ursachen verantwortlich sind. Schrödter et al. (1995) belegten nach detaillierter Auswertung der genannten Daten erhöhte Schwermetallgehalte für das Mansfelder Land und den Bitterfelder Raum. Eine großflächige Belastung konnten die genannten Autoren nicht ausweisen.

Die Hintergrundwerte (90%-Percentil) der Schwermetallgehalte für die in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Sachsen (Mitteldeutschland) dominierenden, auf der Basis der BÜK-400 stark zusammengefaßten Bodengesellschaften sind in Abbildung 7 wiedergegeben (Datenquelle: Barth et al. 1996, LAU 1996, Altermann et al. 1995, Zierdt 1991). Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung dieser Bodengesellschaften.

Tabelle 2: Zusammenfassung von Bodeneinheiten der BÜK 400 Sachsens und Sachsen-Anhalts zu aggregierten Bodengesellschaften (Ergänzung zur Abb. 7)

Dominierende zusammengefaßte Bodengesellschaften Mitteldeutschlands	
Nr. in Abb 7	Bezeichnung
1	Pararendzinen aus Lößdecken
2	Pararendzinen aus Skelettlößdecken über präquartären basenreichen Gesteinen
3	Schwarzerden aus Lößdecken
4	Schwarzerden aus Sandlößdecken
5	Braunerden aus Skelettsand- bis Skelettlößdecken über präquartären basenreichen Gesteinen
6	Braunerden und Fahlerden aus Skelettlöß- und Lößschuttdecken über präquartären basenreichen Gesteinen
7	Braunerden und Fahlerden aus Sandlößdecken
8	Braunerden und Fahlerden aus Skelettlößdecken über präquartären basenreichen Gesteinen
9	Braunerden und Braunerde-Fahlerden aus Geschiebedecksand
10	Fahlerden/Parabraunerden aus Löß
11	Podsol-Braunerden bis Podsole aus Sand
12	Pseudogley-Schwarzerden und Schwarzerde-Pseudogleye aus lehmigen Sand-, Sandlöß- und Lößdecken
13	Braunerde-Pseudogleye u. Pseudogleye aus Löß- und Sandlößdecken
14	Auenböden aus Auenlehmdecken
15	Schwarzerde-Gleye aus Kolluviallöß
16	Braunerde-(Podsol-)Gleye und Podsolgleye aus Geschiebedecksand
17	Gleye und Humusgleye aus Sand
18	Gleye aus (Auen-)Lehmsand über Sand oder Lehm
19	Humus- und Anmoorgleye aus (Auen-)sand, (Auen-)lehm und Moore

Interessant ist dabei einerseits die z.T. recht gute Übereinstimmung der Hintergrundwerte und andererseits die erhebliche Differenz, jeweils bei weitgehend gleichen Bodenverhältnissen beider Bundesländer. Die Blei-Hintergrundwerte schwanken bei den Schwarzerden, Fahlerden und Pseudogleyen aus Löß sowie in den Auen und z.T. auch in den Niederungen stärker bis wesentlich stärker als innerhalb der anderen Bodengesellschaften. Die Cadmiumgehalte schwanken lediglich in den Auen stärker, wo sie auch meistens die Bodenwerte I, z.T. II überschreiten. Bei Chrom differieren die Gehalte bei Auenböden

sowie bei podsoligen Böden aus Sand stärker, bei Kupfer in den lößbestimmten Böden (Einfluß des Mansfelder Raumes!) und ebenso in den Auen, während für Nickel die Hintergrundgehalts-Schwankungen bei gleichen Böden in beiden Ländern nicht erheblich sind. Bei Quecksilber sind wieder für die Auenstandorte stärkere Gehaltsunterschiede feststellbar. Die Zinkgehalte differieren dagegen ganz erheblich, sowohl bei Löß-Schwarzerden, bei Podsolen, bei Pseudogleyen aus Löß und Sandlöß als auch wiederum in Auen und Niederungen. Somit kann festgestellt werden, daß in den Auen Mitteldeutschlands die stärksten regionalen Unterschiede in den Hintergrundwerten auftreten, was durch den stark wechselnden anthropogenen Einfluß sowie durch geogen unterschiedlich ausgestattete Zuflußgebiete erklärbar ist. Die Unterschiede bei gleichen Lößböden sind dagegen wahrscheinlich im wesentlichen geogen zu deuten. Diese dokumentierten Daten sind durch neue Untersuchungen laufend zu ergänzen und zu präzisieren. Zu den von Feldhaus et al. (1996) für Sachsen-Anhalt veröffentlichen und nach großen Gruppen der geologischen Herkunft zusammengestellten Werten ergeben sich gute Übereinstimmungen aber auch Unterschiede. So werden von den genannten Autoren bei Cr und Ni für die Löß- und Auengebiete sowie bei Cr, Cu und Ni für die Triasgebiete höhere Werte als in dieser Publikation angegeben. Dagegen sind die Auengebiete bei Feldhaus et al. (1996) durch deutlich niedrigere Blei- und Cadmium-Hintergrundwerte belegt. Obwohl beide Zusammenstellungen auf unterschiedlichen Bezügen basieren und dadurch nur bedingt vergleichbar sind, muß dem letztgenannten divergierenden Sachverhalt noch nachgegangen werden.

Die 90er-Percentile der auf die aggregierten Bodeneinheiten des Untersuchungsraumes bezogenen Blei-, Cadmium-, Kupfer- und Zinkgehalte wurden länderübergreifend kartographisch dargestellt (Abb. 8 - 11). Dabei kommt deutlich zum Ausdruck, daß der weitaus überwiegende Flächenanteil im Hintergrundwert eindeutig unter dem Bodenwert I liegt. Das trifft für alle dargestellten Elemente sowie für Nickel, Chrom und Quecksilber zu. Die Lößböden sind durch deutlich niedrigere Werte gegenüber den Gehalten in Böden im unmittelbaren Erzgebirgs- und Unterharzvorland, in den Triasgebieten, im Unterharz und für bestimmte Areale der Auen und Niederungen gekennzeichnet. Der Bodenwert I für Blei und Cadmium wird in den meisten Auenböden überschritten, dabei in den sächsischen (außer Elbeaue) mehr als in den sächsisch-anhaltinischen (Abb. 8, 9). Das trifft

auch für die Böden des Erzgebirges und Bereiche des Unterharzes zu. Überschreitungen des Bodenwerts I/II für Kupfer sind nur für die sächsischen Auenböden und für Bereiche der Harzböden ausgewiesen (Abb. 10). Zink überschreitet ebenfalls in fast allen Auenbereichen den Bodenwert I , wobei in der sächsischen Elster- und Muldeaue sowie in deren Zuflüssen die Gehalte sogar den Bodenwert II übertreffen (Abb. 11). Auch die Erzgebirgsböden liegt im Zinkanteil über dem Bodenwert I. Nickel überschreitet nur in Böden des nördlichen Erzgebirges den Bodenwert I, in den anderen Böden des Erzgebirges und in den Auenböden liegen erhöhte Werte unterhalb des BW I vor. Ähnliches gilt für Cr, wobei hier außerdem für die Böden der sächsischen Heidegebiete erhöhte Hintergrundgehalte unterhalb des BW I ausgewiesen sind. Hg überschreitet nur in den säsischen Auenböden außerhalb der Elbeaue den Bodenwert I, wobei BW II nicht erreicht wird.

Im Untersuchungsgebiet sind also erhöhte Schwermetall-Hintergrundwerte unterhalb des Bodenwerts I lediglich für die Triaslandschaften und Vorgebirgslagen sowie auch für Teilbereiche der Auen und Niederungen nachweisbar. Der Bodenwert I wird dagegen fast überall in den Auen sowie im Erzgebirge und z.T. auch im Unterharz und Harzrand überschritten. Die Erhöhungen in den Triaslandschaften, Gebirgs- und Vorgebirgslagen sind geogen, die erhöhten Hintergrundwerte in den Auen und Niederungen anthropogen erklärbar. An der Ländergrenze Sachsen-Anhalt/Sachsen sind - wahrscheinlich auf unterschiedliche Datenbasis zurückzuführende - Gehaltssprünge erkennbar.

Die bisher diskutierten Ergebnisse belegen generell die Schwermetallsituation der Oberbodenhorizonte (Ap-Horizonte) in den Böden. Nach Untersuchungen aus dem Raum Querfurt (Altermann et al. 1995) wurde festgestellt, daß die Ap-Horizonte die höchsten Schwermetallgehalte - außer Nickel - aufweisen, wobei die Täler an der Spitze stehen. Mit zunehmender Profiltiefe fallen die Schwermetallgehalte jedoch überwiegend deutlich ab, jedoch können im Untergrund die Gehalte - lithogen verursacht - stark schwanken. Lithogen bedingte Untergrundgehalte pausen sich - meistens abgeschwächt - bis in die Ackerkrume durch. Löß maskiert die gesteinsbedingten Unterschiede des Untergrundes, d.h. höhere Untergrundgehalte werden durch Lößbedeckung herabgemindert, geringere durch Löß überschritten. Deutliche Gehaltsanomalien in den Böden sind durch oberflächennahe Verbreitung von Trias-, Rotliegend- und Zechsteinsedimenten zu erklären. Die

genannten Gesteine mit spezifischem Schwermetallspektrum können alle Schwermetallgehalte örtlich bis in die Ackerkrume aufgrund reliefbedingter Flachgründigkeit (Erosion) der Böden beeinflussen. So sind bei mehrschichtigen mitteldeutschen Böden nur bedingt aus den Oberbodengehalten Aussagen über die Anteile im Gesamtprofil (Unterboden, Untergrund) möglich.

Über diese dargelegten großräumigen Auswertungen hinaus liegen für Belastungsgebiete außerdem eine Vielzahl von speziellen Untersuchungen vor. Auf einige Fallbeispiele soll nachfolgend noch kurz eingegangen werden.

Zur Schadstoff-Situation im Landkreis Bitterfeld informiert zusammenfassend der Umweltreport Bitterfeld 96 (Landkreis Bitterfeld 1996), der auf Ergebnissen verschiedener Autoren aufbaut (z.B. Wilken et al. vom ITU Berlin). Danach ist die Hintergrundbelastung im Raum Bitterfeld flächendeckend deutlich erhöht, jedoch konzentrieren sich die Belastungsschwerpunkte auf die Standorte der chemischen Industrie und ihre unmittelbaren Anrainer. Die Belastung der Muldeaue wurde durch die langjährige Einleitung von ungeklärten Abwässern verursacht. Bezüglich der Schwermetalle weist der Umweltreport für den Landkreis Bitterfeld zwei Belastungsschwerpunkte mit hohen Schwermetallkonzentrationen aus: es sind dies das Gelände der heutigen Chemie-AG und das Überschwemmungsgebiet der Muldeaue. Im Gelände der Chemie-AG gibt es hochgradig kontaminierte Flächen, die dringend saniert werden müssen. Das betrifft insbesondere die mit Quecksilber kontaminierten Areale. In den überschwemmten Gebieten der Muldeaue sind als anorganische Schadstoffe an erster Stelle Arsen und Quecksilber zu nennen, zum Teil tritt auch eine erhöhte Cd- und Pb-Belastung auf. Die Stroffeinträge in der Muldeaue wurden durch Immission, Ab- und Zwischenlagerung von Abprodukten sowie durch Abwässer und Schadstoffeinleitungen verursacht. Insbesondere im Gebiet des Spittelwassers treten durch Abwässer der Chemieindustrie Bitterfeld-Wolfen Bodenkontaminationen auf. Aus dem sächsischen Teil der Mulde gelangten As, Cd, Zn, Pb in den Bitterfelder Raum. Die im sächsischen Muldeteil festgestellte hohe Arsen- und Cadmiumbelastung wird hauptsächlich auf Einträge durch Zuflüsse aus den Erzrevieren und der Hüttenindustrie zurückgeführt (UW 1994). Sehr hohe Schwermetallkonzentrationen in der

sächsischen Muldeaue (Cd, As, Zn, Cu, Pb, Ni) gibt u.a. auch Grebner (1994) an, wobei von Süden nach Norden eine abnehmende Tendenz nachweisbar ist.

Auch die urbanen Räume des Ballungsgebietes gelten als potentielle Verdachtsflächen für Bodenkontaminationen. Deshalb wurden die Stadtgebiete (Halle und Leipzig) in den letzten Jahren gezielt untersucht (in Halle u.a. von Eichstädt 1993, in Leipzig u.a. von Schulte 1996a, b). Eichstädt (1993) belegte Kontaminationen in der Halleschen Saaleaue. Sowohl die punktuelle Belastung durch vorhandene oder ehemalige Industriestandorte als auch die Flächenbelastung durch Überflutung mit kontaminiertem Saalewasser aus flußaufwärts angesiedelten Industriebetrieben ließ sich nachweisen. Das betrifft die aktuellen Überschwemmungsräume der Saale. Außerhalb dieser Überschwemmungsflächen ist die Schadstoffbelastung der Saaleaue deutlich geringer. Aus anthropogenen Quellen stammen vornehmlich Zink, Kupfer und Blei. Diese Elemente sind im Oberboden angereichert. In den ehemaligen Industriestandorten innerhalb der Saaleaue liegen die Belastungsschwerpunkte. Auch für Kleingärten besteht im Ballungsraum zur Gefahrenerkennung großes Untersuchungsinteresse (zusammenfassend über Hallesche Kleingärten berichten Breuste et al. 1996 und Diaby 1996). Für Hallesche Kleingärten fand beispielsweise Diaby (1996), daß die Schwermetallbelastung überwiegend unterhalb der für Kleingärten vorgeschlagenen Grenzwerte liegt (MUNR 1992). Grenzwertüberschreitungen nach den Empfehlungen der Sachsen-Anhalt-Liste traten nur in ca. 3% der Proben auf. Es dominieren im Schwermetallspektrum hallescher Kleingärten die stadttypischen Indikatoren Pb (verursacht vom Kraftverkehr, ferner durch Aufschüttungen und Deponien) und Zink (verursacht durch Braunkohlenverfeuerung). Hohe Kupfergehalte sind für die Industriegebiete typisch. Schulte (1996a, b) konnte für Leipzig besonders hohe Schwermetallkonzentrationen in unmittelbarer Entfernung zu Emittenten nachweisen (Überschwemmungsbereiche, stark befahrene Straßen und Schienen sowie durch Kleinindustrie und Hausbrand geprägte Gebiete).

Nach Auswertung ausgewählter Spezialuntersuchungen im Untersuchungsraum ist zu schlußfolgern, daß gegenüber den dargelegten flächen- und bodenbezogenen Übersichts-Auswertungen in intensiv untersuchten belasteten Teilgebieten erhebliche Abweichungen (überwiegend deutliche, z. T. extreme Erhöhungen) im Schwermetallgehalt vorkommen

können. Das betrifft u.a. die Stadtgebiete, wo Kontaminationen für ehemalige Industrieanlagen und angrenzende Bereiche nachgewiesen wurden, die Flußauen, die durch Einleitungen von industriellen Abprodukten und durch Überschwemmungen stärker im Schwermetallgehalt erhöht sind als die anderen Auen ohne direkten Industrieeinfluß sowie die bekannten industriellen Ballungsräume, die Gegenstand zahlreicher Sonderuntersuchungen und Umweltstudien waren. Andererseits wird auch klar nachgewiesen, daß außerhalb der bereits gekennzeichneten Industrieräume keine Schadstoffbelastung auftritt und die Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe praktisch nur in Ausnahmefällen - anthropogen bedingt - überschritten werden.

Dabei sind für die Bewertung der Bodenkontamination nicht nur die Gehalte an Schadstoffen, sondern auch deren Mobilität (Bioverfügbarkeit) in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften heranzuziehen (vgl. hierzu Peklo u. Niehus 1997). Für die Mobilisierung und ökotoxikologische Wirkung von Schadstoffen im Boden spielt die gelöste organische Substanz des Bodens nach Untersuchungen in der Dübener Heide und Muldeaue eine entscheidende Rolle (Kalbitz 1996).

Mit den vorgelegten Ergebnissen wurde durch gezielte Datenauswertung für den mitteldeutschen Raum die Schwermetallsituation dargestellt. Die nach 1989 vermutete großräumige Kontamination dieses Gebiets hat sich nicht bestätigt (vgl. Suntheim u. Bufe 1993). Andererseits sind punktuell, insbesondere in den ehemaligen und intakten Industriestandorten und angrenzenden Gebieten, außerdem in Immissionsräumen, deutlich höhere Hintergrundwerte für Schwermetalle sowie auch extreme Belastungen nachgewiesen. Für letztere wurden lokal begrenzte Sanierungen und Schutzmaßnahmen ausgelöst.

Neben den bekannten Belastungsgebieten Mansfelder Raum und Bitterfelder Industriegebiet mit punktuellen Kontaminationen und flächenhaft erhöhten Hintergrundwerten sind in den Auen- und Niederungsstandorten - regional unterschiedlich - sowie in Siedlungsräumen erhöhte, anthropogen bedingte Hintergrundwerte für Schwermetalle kennzeichnend. Außerdem sind für die Gebirgs- und Vorgebirgslagen mit oberflächennahen paläozoischen und triassischen Gesteinen geogen bedingte erhöhte Hintergrundwerte für Schwermetalle typisch. Die genannten Gebiete sind deshalb als potentiell empfindlich für

Schadstoffeinwirkungen einzustufen, vor Kontaminationen zu schützen, kontinuierlich zu überwachen und verstärkt in die Bodendauerbeobachtung einzubeziehen.

6. Zusammenfassung

Für die flächen- und bodenbezogene Auswertung verfügbarer Schadstoffdaten der Böden der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt im Untersuchungsraum des Regnal-Forschungsprojekts standen folgende Datenquellen zur Verfügung:

- Daten der Bodendatenbank des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Auszug),
- Schwermetalldaten für Böden des Kreises Querfurt,
- Schwermetalldaten des Halleschen Raumes,
- Datenzusammenstellung des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Freiberg, für Bodengesellschaften Sachsens.

Die Auswertungen beschränkten sich auf Grund der Datenlage fast ausschließlich auf Schwermetallgehalte landwirtschaftlich genutzter Flächen. Es wurden nur Proben aus dem obersten Horizont (meistens Ap-Horizont) in die flächen- und bodenbezogene Auswertung einbezogen.

Für den sächsisch-anhaltinischen Raum existieren Datendefizite bezüglich der Schwermetallgehalte in Böden für die Landschaftseinheiten Zerbster Ackerland, Hallenser Porphyrhügelland, Weißenfelser Lößhügelland, Bad Schmiedeberger Hügelland sowie für das Dessau - Magdeburger Elbetal.

Als Schwerpunkte künftiger Beprobungen für anorganische Schadstoffuntersuchungen sind für Sachsen-Anhalt zu nennen: das südliche Lößgebiet (Pseudogleye, Griserden, Schwarzerden), die Triaslandschaft (Fahlerden, Pararendzinen, Schwarzerden), der Raum Halle - Köthen (Sandlößböden, Porphyrkomplex, Schwarzerden), die Schwarzerden des Östlichen Harzvorlandes, der Unterharz, die Sandgebiete außerhalb des Lößgebietes (Heidegebiete, Fläming), die Niederungen im östlichen Sachsen-Anhalt, die schwarzerdeähnlichen Böden im Raum Zerbst sowie alle Kippenstandorte. Für den sächsischen Raum sind es die Böden aus sandigen Substraten (Braunerden, Pseudogleye) sowie Schwarzerden aus Sandlöß.

Als mit Schwermetallen belastet ergeben sich einige Gebiete des Mansfelder Berglandes und Hettstedt-Eislebener Bergbaugebiets, der Muldentäler (Bitterfelder Industriegebiet) und z.T. auch des Saale-Elstertals. Außerhalb der Industrieräume treten keine Schadstoffbelastungen auf, und die Hintergrundwerte werden praktisch nur in Ausnahmefällen überschritten.

Ausgewählte Ergebnisse von speziellen Untersuchungen im REGNAL-Gebiet belegen, daß für intensiv untersuchte und belastete Teilgebiete erhebliche Abweichungen (überwiegend deutliche, z. T. extreme Erhöhungen) im Schwermetallgehalt im Vergleich zu den Übersichtsdarstellungen für landwirtschaftlich genutzte Gebiete vorkommen können. Das betrifft u.a. die Stadtgebiete, wo Kontaminationen für ehemalige Industrieanlagen und angrenzende Bereiche nachweisbar sind, die Flußauen, die durch Einleitungen von industriellen Abprodukten und durch Überschwemmungen stärker im Schwermetallgehalt erhöht sind als die anderen Auen ohne direkten Industrieeinfluß, sowie die bekannten industriellen Ballungsräume.

Außerhalb der genannten Belastungsgebiete sind im Untersuchungsraum erhöhte Hintergrundwerte unter dem Bodenwert I lediglich für die Böden der Triaslandschaften und Vorgebirgslagen sowie teilweise auch für die Auen- und Niederungsböden nachweisbar. Der Bodenwert I wird dagegen fast überall in den Auenböden sowie in den Böden des Erzgebirges, und z.T. auch des Unterharzes und Harzrandes überschritten. Die Erhöhungen in den Triaslandschaften, Gebirgs- und Vorgebirgslagen sind geogen, die erhöhten Hintergrundwerte in den Auen und Niederungen anthropogen erklärbar.

In den Auen Mitteldeutschlands treten die stärksten regionalen Unterschiede in den Hintergrundwerten auf, was durch den stark wechselnden anthropogenen Einfluß sowie durch geogen unterschiedlich ausgestattete Zuflußgebiete erklärbar ist.

Erhöhte Schadstoffgehalte (auch erhöhte Hintergrundwerte) sagen nichts aus über die Verfügbarkeit der Schwermetalle. Die vielfältigen Einflüsse auf die Schadstoffverfügbarkeit sind inzwischen belegt und nicht generell, sondern nur standort- und nutzungsbezogen zu beurteilen.

Die vorgelegte Übersicht über die Schwermetallsituation gestattet - mit aller gebotenen Vorsicht bei der Heterogenität der bereitgestellten Daten - gut fundierte Übersichtsaussagen, die durch neue Daten qualifiziert werden und für konkrete Einzelflächen nicht generell gelten können. Neben den bekannten Belastungsgebieten sind den Auen- und Niederungsstandorten sowie den Siedlungsräumen mit erhöhten, anthropogen bedingten sowie bestimmten ausgewiesenen Räumen mit erhöhten, geogen bedingten Hintergrundwerten für Schwermetalle besondere Aufmerksamkeit zu schenken und verstärkt in die Bodendauerbeobachtung einzubeziehen.

Schwerpunkt kommender Arbeiten sollte die Fortführung von Untersuchungen in den herausgestellten Arealen mit Erkenntnisdefiziten bezüglich der Schwermetallsituation sein. Außerdem erscheint es unbedingt geboten, die Forschungen über die Verfügbarkeit von Schadstoffen unter den Boden- und Klimaverhältnissen Mitteldeutschlands (Schwarzerdegebiet, Mitteldeutsches Trockengebiet) zu forcieren.

7. Literatur

Altermann, M., Kühn, D., Fuchs, M., Jähnert, R. (1995): Auswertung und kartographische Umsetzung von Feldaufnahmen und Bodenanalysen des Kreises Querfurt. - Unveröff. Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Barth, N., Pälchen, W., Rank, G. (1996): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in landwirtschaftlich genutzten Böden. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Materialien zum Bodenschutz, Radebeul

BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (1995): Karte der Bodengroßlandschaften der Bundesrepublik Deutschland und Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1.000.000 (BÜK 1.000). - BGR, Berlin/Hannover

Breuste, I., Breuste, J., Diaby, K., Frühauf, M., Sauerwein, M., Zierdt, M. (1996): Hallesche Kleingärten - Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten. - Leipzig, UFZ-Bericht 8/1996

CUI - Consultinggesellschaft für Umwelt und Infrastruktur mbH (1996): Übersicht zu Verdachtsflächen großräumiger Bodenkontaminationen für Sachsen-Anhalt. - Abschlußbericht, unveröff.

Diaby, K. (1996): Untersuchungen zum Schwermetall- und Nährstoffhaushalt in Halleschen Kleingartenanlagen - Ein Beitrag zur geoökologischen Charakteristik der Stadtregion Halle. - Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Eichstädt, K. (1993): Schwermetallbelastung in Aue-Böden im Stadtgebiet von Halle a. d. Saale (Sachsen-Anhalt): industrielle Standorte und multivariate statistische Auswertung. - Diplomarbeit, TU Berlin

Eikmann, T., Kloke, A. (1991): Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden. - In: Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Böden - Information. Magdeburg

Feldmann, R., Henle, K., Auge, H., Flachowsky, J., Klotz, S., Krönert, R. (Hrsg.)(1997): Regeneration und nachhaltige Landnutzung - Konzepte für belastete Regionen. - Springer Heidelberg, 317 S.

Feldhaus, D., Schrödter, M., Gutteck, U. (1996): Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden des Landes Sachsen-Anhalt. - Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt 2 (Halle, Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt): 205-211

Grebner - Ingenieure GmbH (1994): Bodenuntersuchungen in der Muldeaue, Teil 2. - Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Leipzig, unveröffentlicht

Grün, M., Machelett, B., Kronemann, H., Leiterer, M., Martin, M.-L. (1993): Schwermetallbelastung der landwirtschaftlich genutzten Böden in den neuen Bundesländern. - unveröff., AUA GmbH, Jena

Kalbitz, K. (1996) Untersuchungen zur Freisetzung der gelösten organischen Substanz des Bodens (DOM) und zum Einfluß der DOM auf die Mobilisierung ausgewählter Schadstoffe in Abhängigkeit von Boden- und Standorteigenschaften. - Leipzig, UFZ-Bericht 23/1996

Kloke, A. (1980): Richtwerte '80, Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. - Mitt. VDLUFA 1/3: 9-11

LAU (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt) (1996): Bodendatenbank. Auszug vom 6.2.1996. - Halle

Landkreis Bitterfeld (1996): Umweltreport Bitterfeld 96. - Landratsamt Bitterfeld

Laves, D., Suntheim, L., Bufe, J., Klose, R., Heber, R. (1992): Belastung sächsischer Böden mit Schwermetallen (SM) und organischen Rückständen. - Vortrag z. Tagung „Stoffliche Belastung von Böden" der Ges. für Geowissenschaften, 11./12. Dezember 1992 in Freiberg, unveröffentlicht

LUFA (Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt) Sachsen-Anhalt (1996): Daten aus dem Klärschlammkataster. - LUFA Sachsen-Anhalt, Halle, unveröff.

MUNR (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Sachsen-Anhalt)(1992): Handlungsempfehlungen für den Umgang mit kontaminierten Böden im Land Sachsen-Anhalt. - Magdeburg

Opp, C. (1993): Geographische Beiträge zur Analyse und Bewertung von Formen der Bodenbelastung im Halle-Leipziger Raum. - Ber. Z. dt. Landeskunde (Trier) 87/1: 67-84

Opp, C. (1996): Stoffliche Bodenbelastungen im Ballungsgebiet Halle-Leipzig - Überblick und räumliche Differenzierung. - Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. (Oldenburg) 80: 45-48

Opp, C., Hanschmann, G. (1993): Zur Schwermetallbelastung von Wald-, Wiesen- und Ackerböden in der Muldeaue des Raumes Bitterfeld. - Wolfen. Chem. Technik, Leipzig-Stuttgart 45: 238-241

Pälchen, W., Laves, D., Barth, N., Schulze, B. (1996): Hintergrundwerte anorganischer Komponenten für landwirtschaftlich genutzte Böden in Sachsen. - 1. Sächsische Bodenschutztage 20./21. Sept. 1995 in Coswig b. Dresden, unveröffentlicht

Peklo, G., Niehus, B. (1997): Transfer von Schwermetallen und Arsen in Nutz- und Wildpflanzen. - In: Feldmann, R., Henle, K., Auge, H., Flachowsky, J., Klotz, S., Krönert, R. (Hrsg.): Regeneration und nachhaltige Landnutzung - Konzepte für belastete Regionen. - Springer, Heidelberg: 79-82

Schröder, H., Knauf, C., Kainz, W. (1994): Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt 1: 400.000. - GLA Sachsen-Anhalt, Halle

Schrödter, M., v. Lengerken, J., Holz, F. (1995): Schwermetallgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden im südlichen Sachsen-Anhalt. - Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. (Oldenburg) 77: 87-90.

Schulte, G. (1996a): Stadtböden - Schadstoffbelastung - Schadstoffmobilität. - Leipzig, UFZ-Bericht 11/1996

Schulte, G. (1996b): Schadstoffe in Leipziger Böden. - Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. (Oldenburg) 80: 165-168

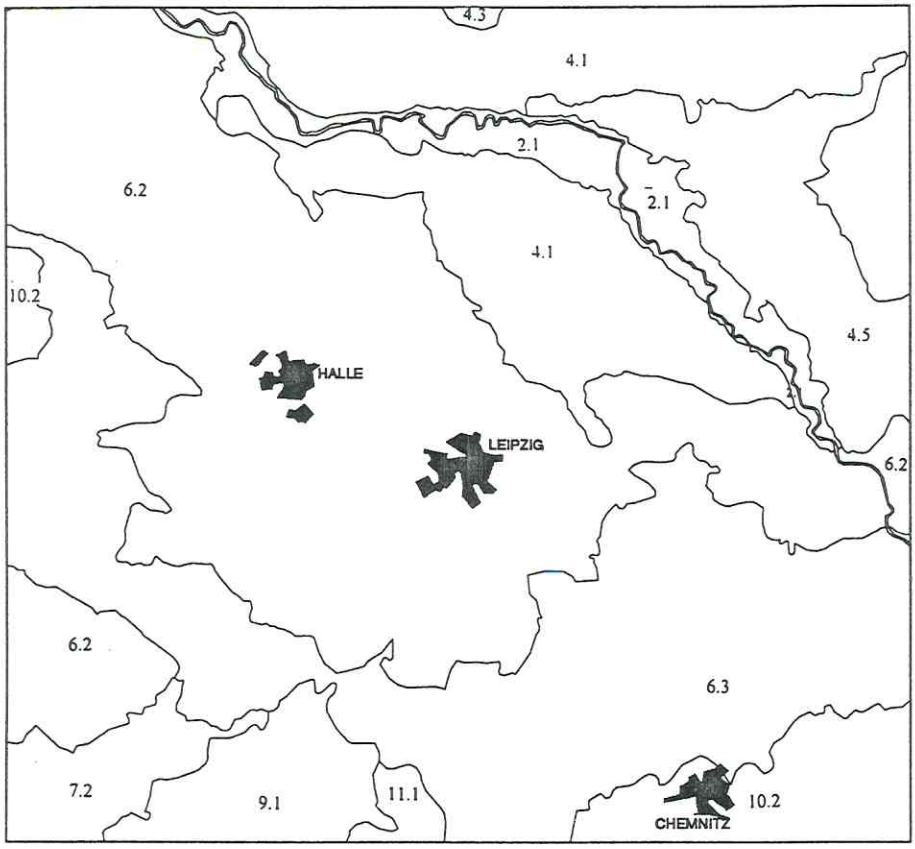
Suntheim, L., Bufe, J. (1993): Keine großflächigen Schwermetallbelastungen der Böden Sachsens. - Neue Landwirtschaft 11: 37-38

UW - Umweltwirtschaft Wasser - Boden - Luft - Abfall (1994): Bodenuntersuchungen in der Muldenaue - Gebiet zwischen Sermuth und Canitz. - unveröff. Bericht

Wünsche, M., Weiße, A., Schützenmeister, W., Dietel, M. (1993): Übersichtskarte der Böden des Freistaates Sachsen 1:400 000. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg

Zierdt, K. (1991): Untersuchungen zur geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastung ausgewählter Hallescher Böden. - Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Zimmermann, K., von Lengerken, J. (1997): Erfassung der Schadstoffbelastung von Weideaufwuchs auf Auenüberschwemmungsflächen - der Einfluß des Probenahmeverfahrens. - In: Feldmann, R., Henle, K., Auge, H., Flachowsky, J., Klotz, S., Krönert, R. (Hrsg.): Regeneration und nachhaltige Landnutzung - Konzepte für belastete Regionen. - Springer, Heidelberg: 65-69



Kartiereinheit	Bezeichnung der Bodengroßlandschaften (BGL)
2.1	Auen und Niederterrassen
4.1	Grundmoränenplatten und Endmoränen im Altmoränengebiet Norddeutschlands und im Rheinland
4.3	Sander und trockene Talsande sowie sandige Platten und sandige Endmoränen im Altmoränengebiet Norddeutschlands
4.5	Niederungen und Urstromtäler des Altmoränengebietes
6.2	Lößbörden
6.3	Lößlandschaften des Berglandes
7.2	BGL mit hohem Anteil an silikatischen Gesteinen im Wechsel mit Löß
9.1	BGL mit hohem Anteil an Sand-, Schluff- und Tongesteinen, häufig im Wechsel mit Löß
10.2	BGL mit hohem Anteil an sauren bis intermediären Magmatiten und Metamorphiten
11.1	Ton- und Schluffschiefer, mit wechselnden Anteilen an Grauwacke, Kalkstein, Sandstein und Quarzit; z.T. mit Lößlehm vermischt

Abb.1: Die Bodengroßlandschaften des Untersuchungsgebietes (aus BGR 1995).

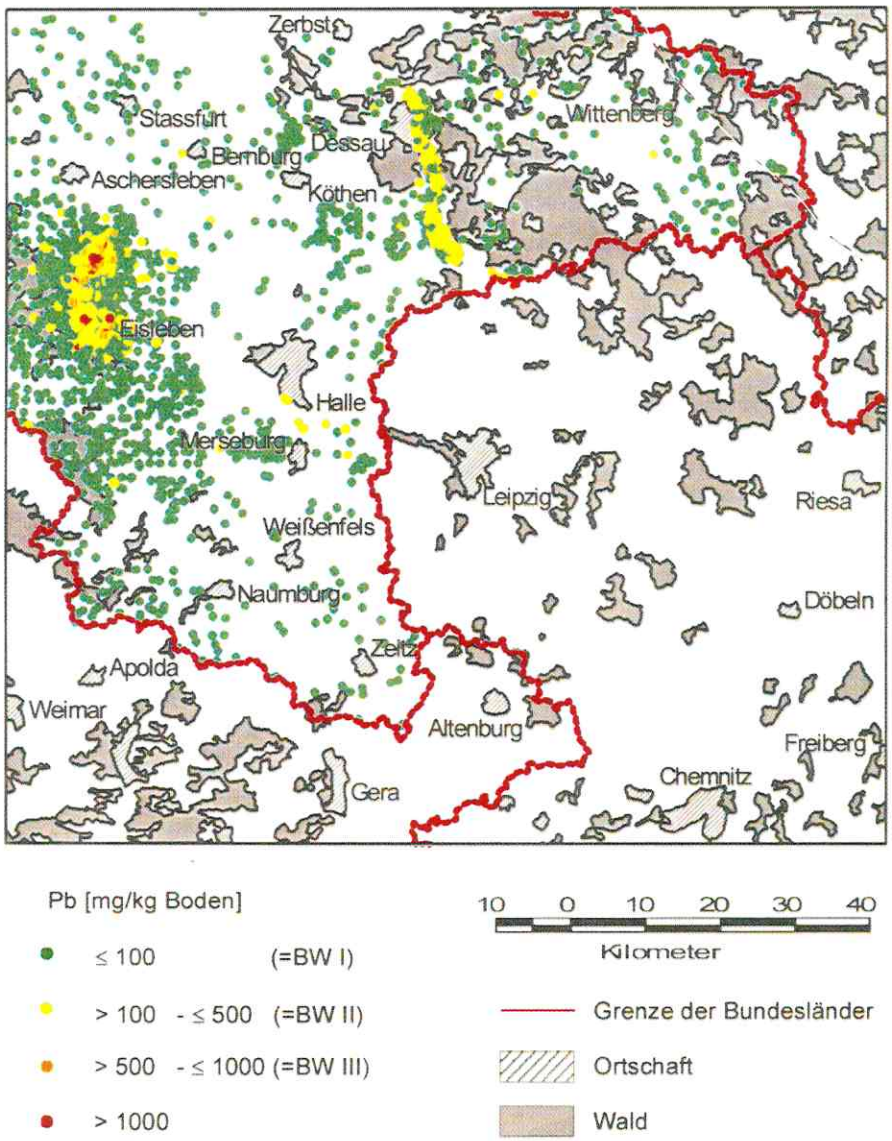


Abb. 2: Gehalte an Blei – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – aller ausgewerteten Oberbodenproben landwirtschaftlich genutzter Standorte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt (Datenquelle: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al.1995).

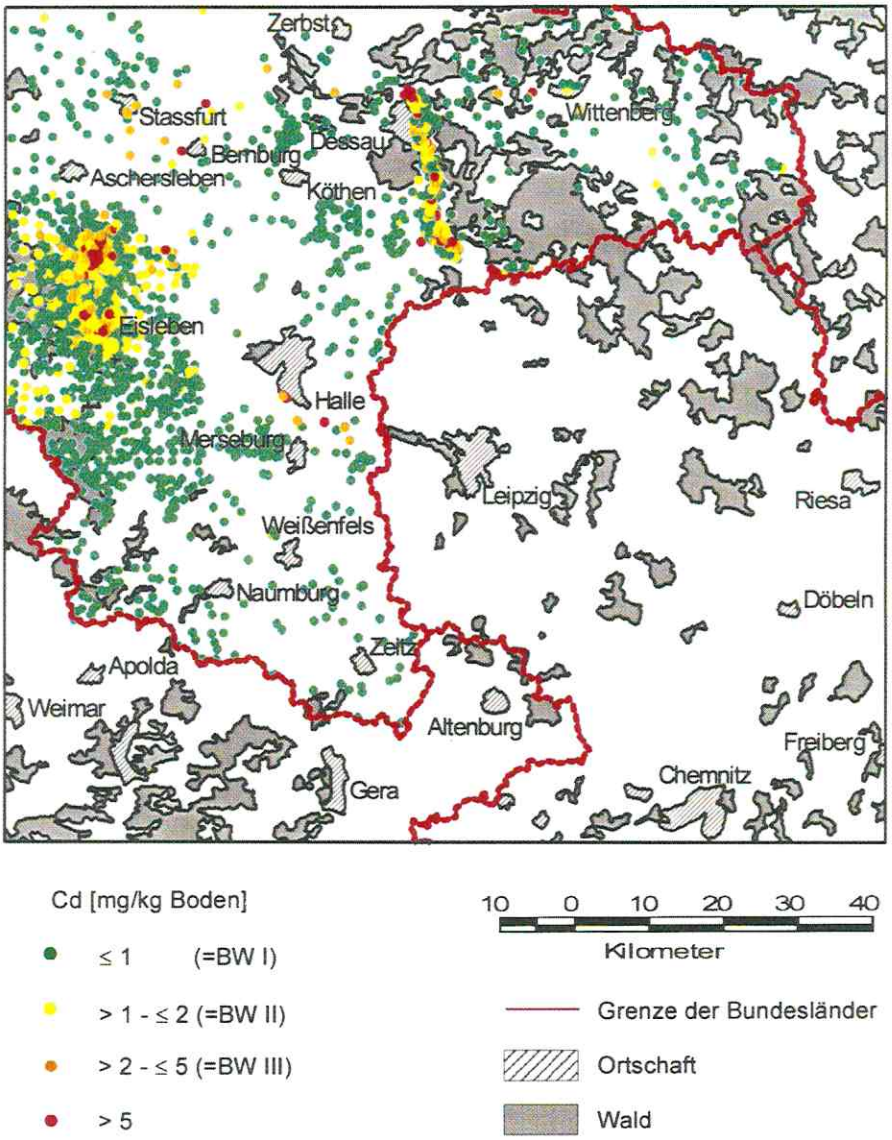


Abb. 3: Gehalte an Cadmium – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – aller ausgewerteten Oberbodenproben landwirtschaftlich genutzter Standorte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt (Datenquelle: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995).

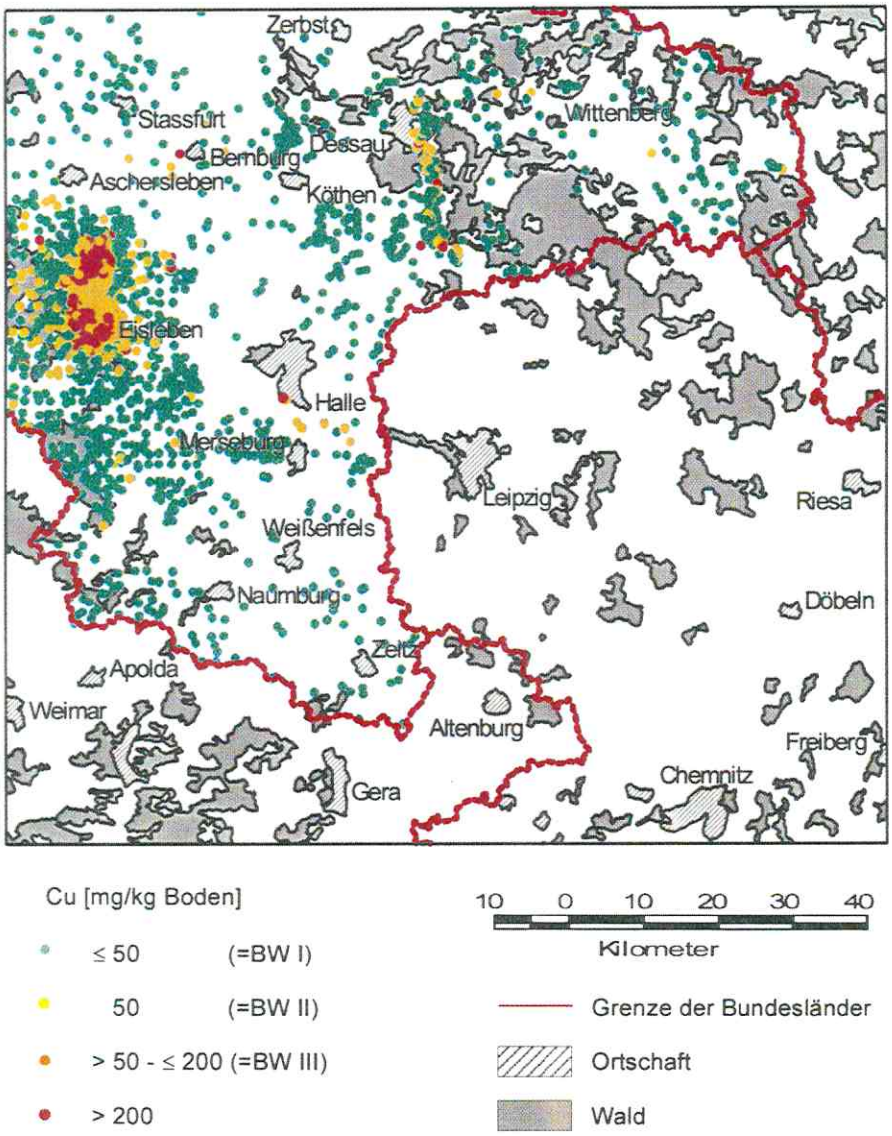


Abb. 4: Gehalte an Kupfer – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – aller ausgewerteten Oberbodenproben landwirtschaftlich genutzter Standorte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt (Datenquelle: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995).

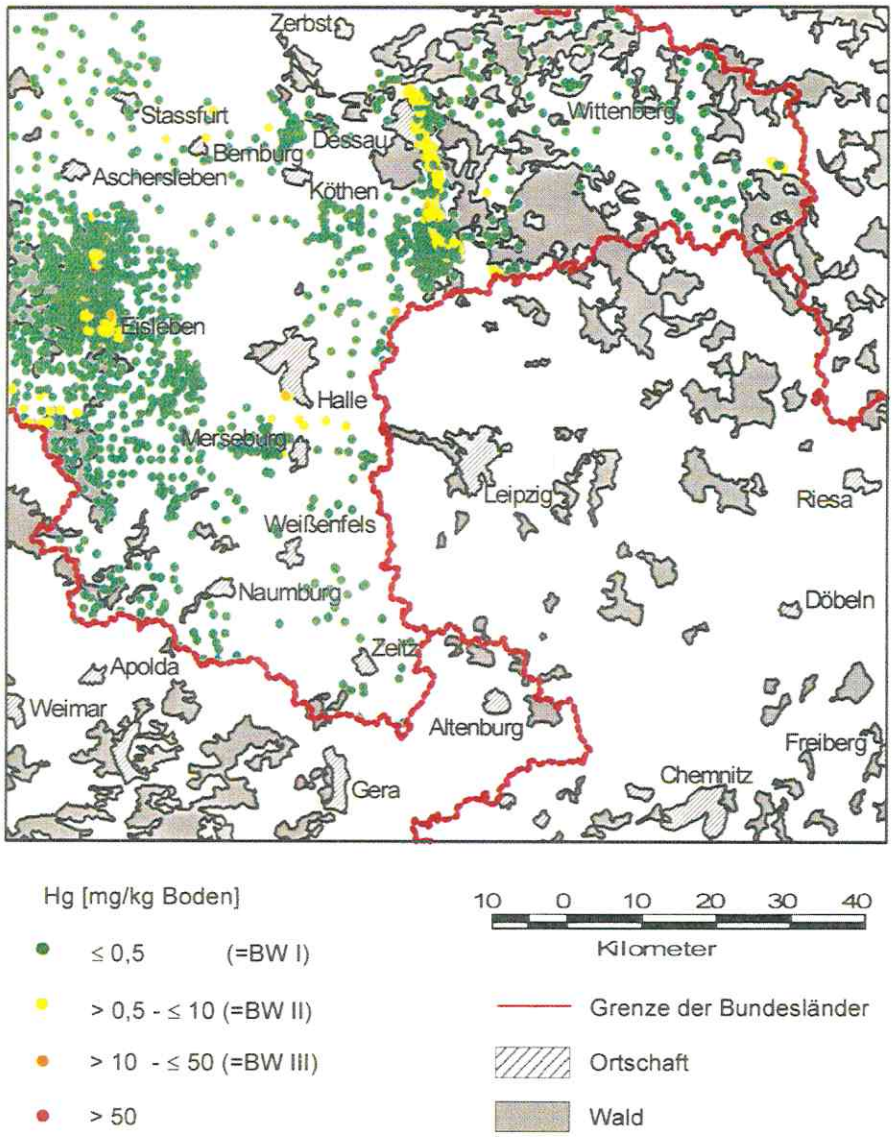


Abb. 5: Gehalte an Quecksilber – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – aller ausgewerteten Oberbodenproben landwirtschaftlich genutzter Standorte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt (Datenquelle: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995).

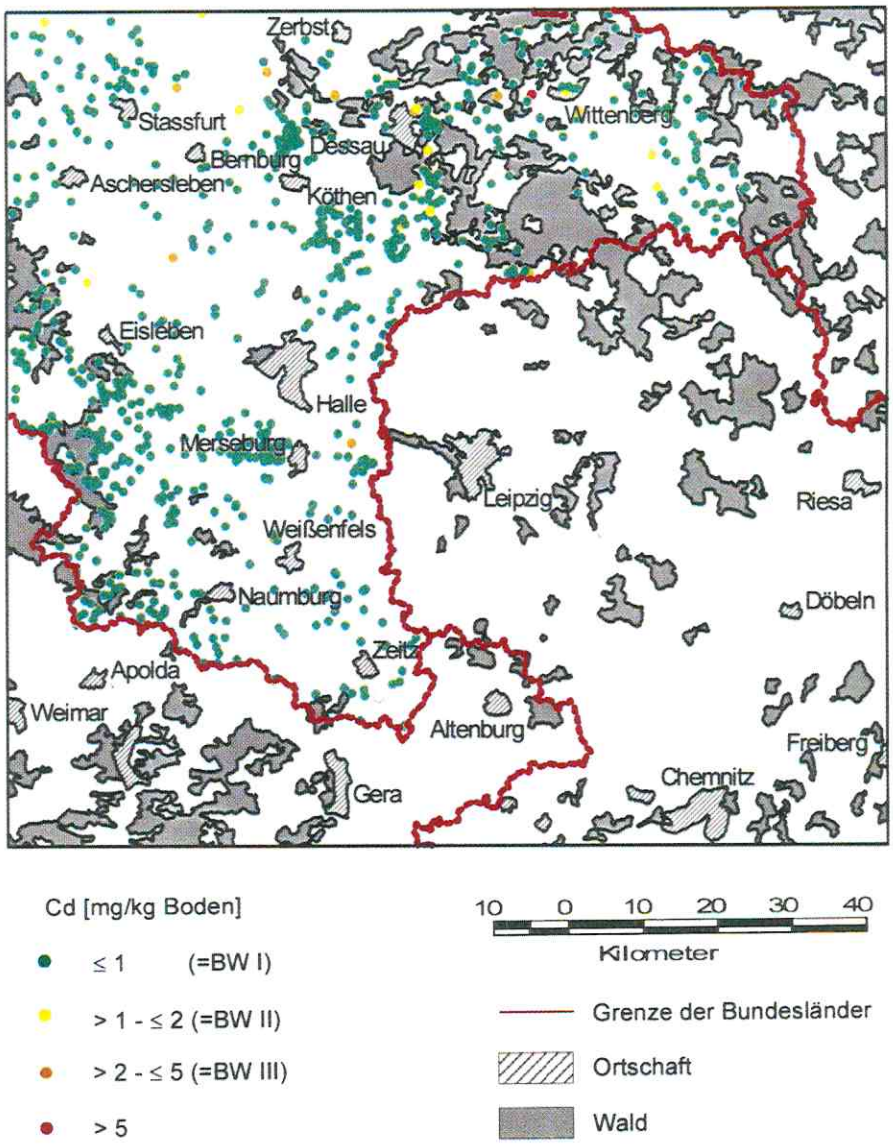


Abb. 6: Gehalte an Cadmium – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – ausgewerteter Oberbodenproben landwirtschaftlich genutzter Standorte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt ohne Sonderuntersuchungen im Rahmen von Umweltstudien (Datenquelle: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995).

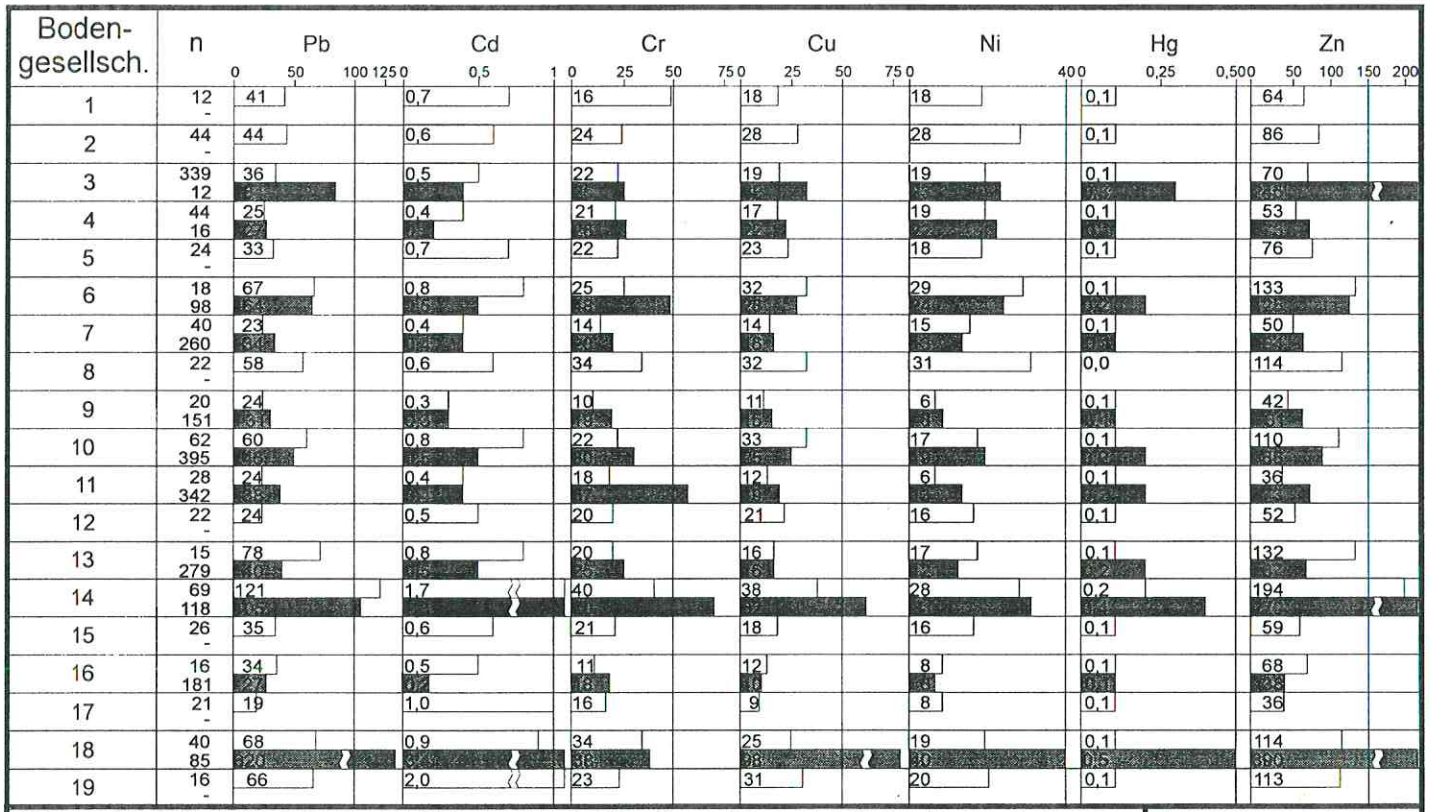


Abb.7: Darstellung der Schwermetall-Hintergrundwerte [90er Percentil in mg/kg] für dominierdende zusammengefaßte Bodengesellschaften des mitteldeutschen Raumes (Sachsen-Anhalt, Sachsen) - Datenquelle siehe Text

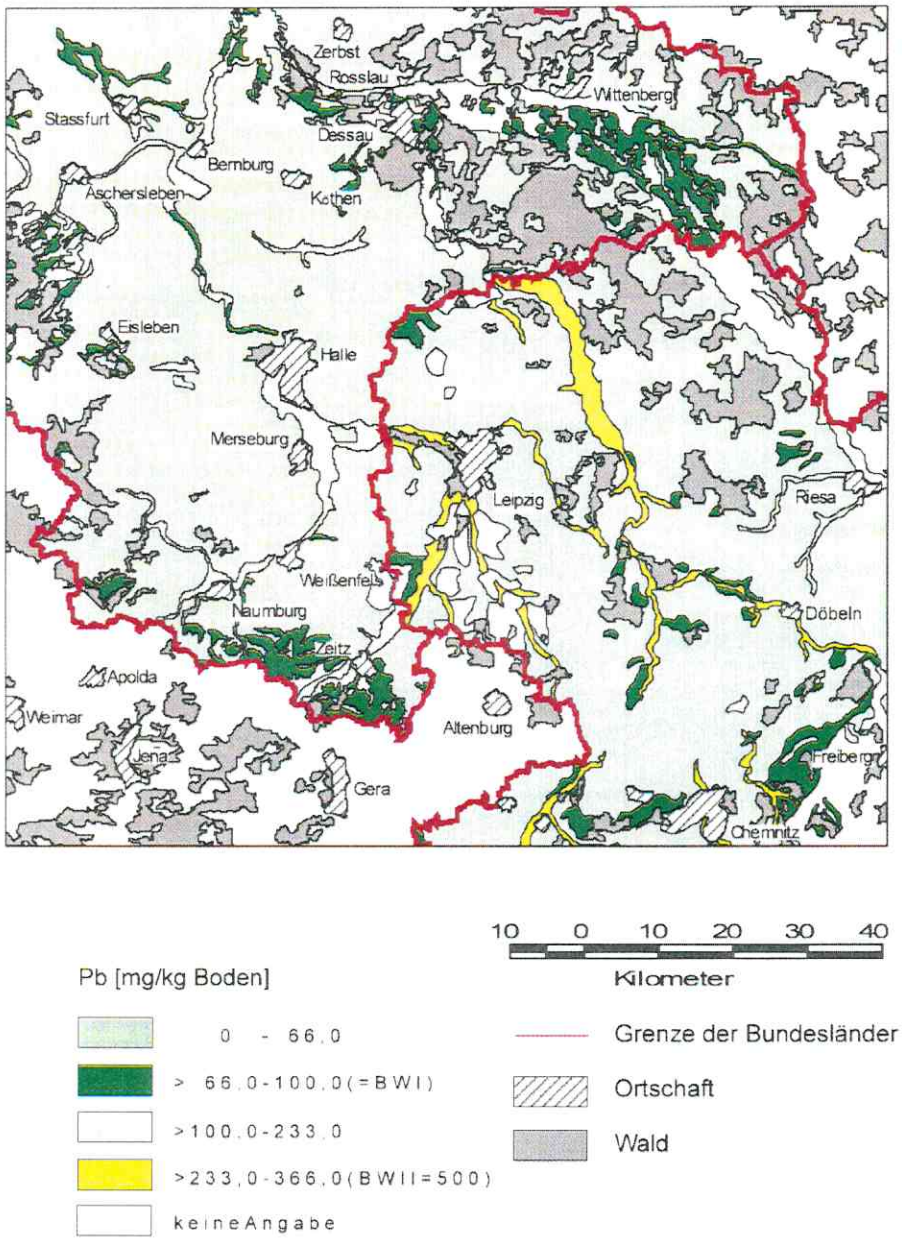


Abb. 8: 90%-Percentile der Bleigehalte – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Standorte der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Sachsen; Flächenbezug: aggregierte Bodeneinheiten der BÜK 400 (Sachsen: Wünsche et al. 1993; Sachsen-Anhalt: Schröder et al. 1994; Datenquelle für die Schwermetallgehalte: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995, Barth et al. 1996).

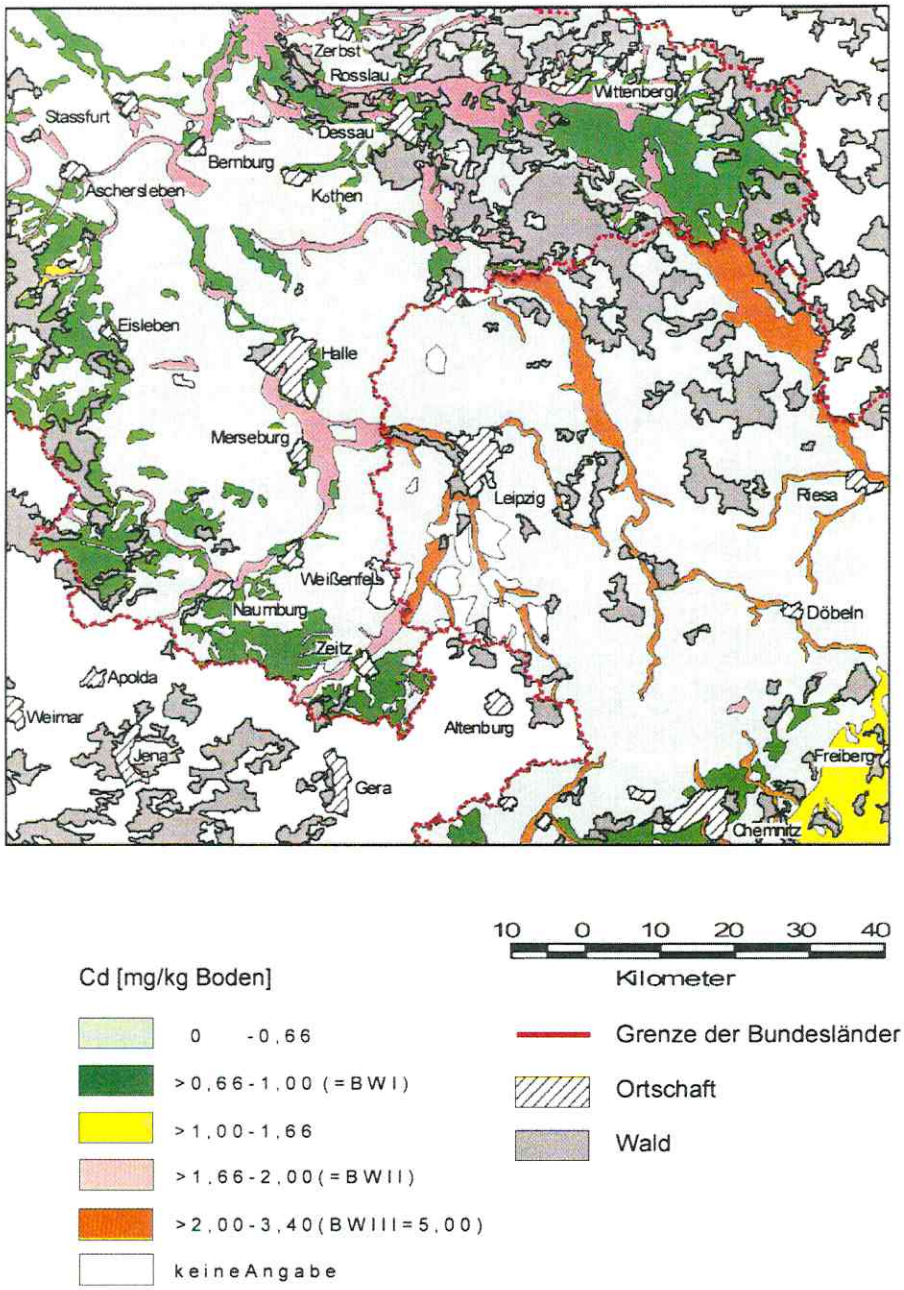


Abb. 9: 90%-Percentile der Cadmiumgehalte – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Standorte der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Sachsen; Flächenbezug: aggregierte Bodeneinheiten der BÜK 400 (Sachsen: Wünsche et al. 1993; Sachsen-Anhalt: Schröder et al. 1994; Datenquelle für die Schwermetallgehalte: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995, Barth et al. 1996).

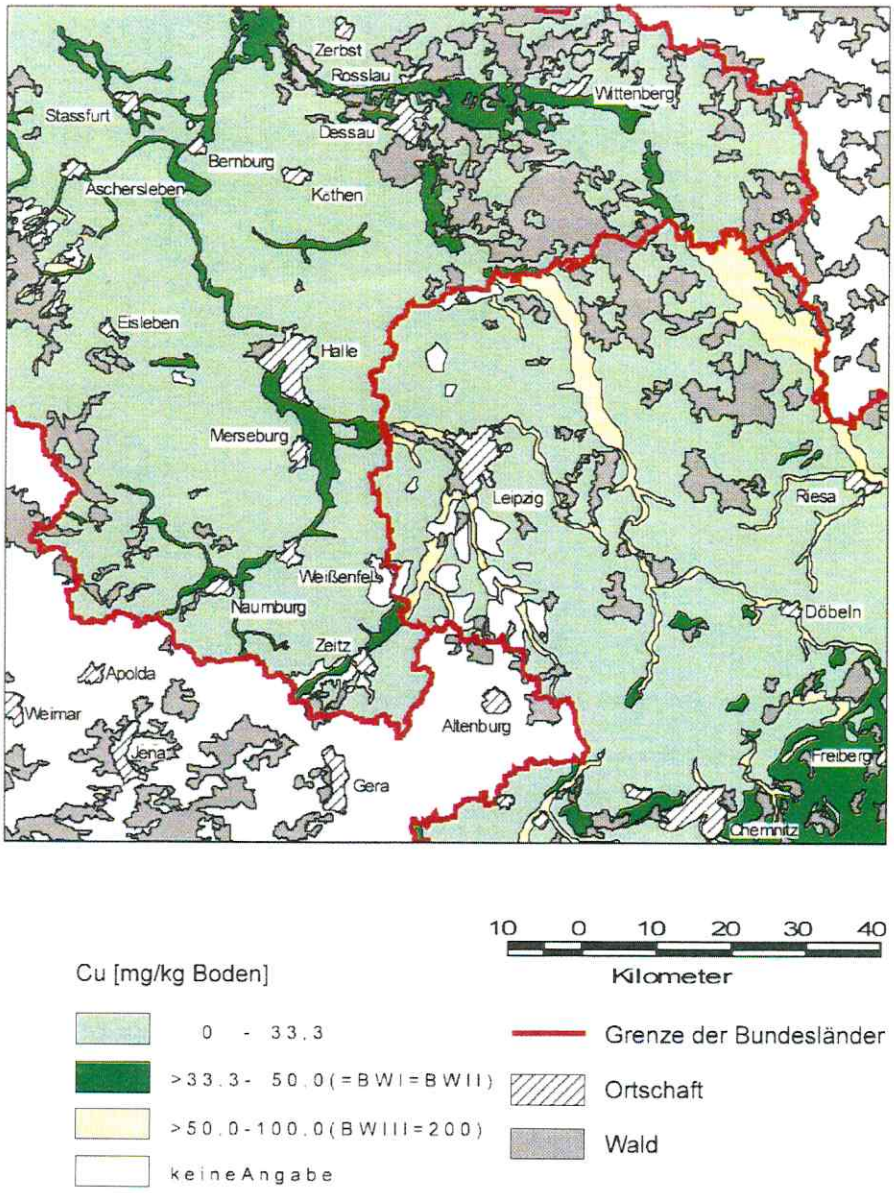


Abb. 10: 90%-Percentile der Kupfergehalte – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Standorte der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Sachsen; Flächenbezug: aggregierte Bodeneinheiten der BÜK 400 (Sachsen: Wünsche et al. 1993; Sachsen-Anhalt: Schröder et al. 1994; Datenquelle für die Schwermetallgehalte: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995, Barth et al. 1996).

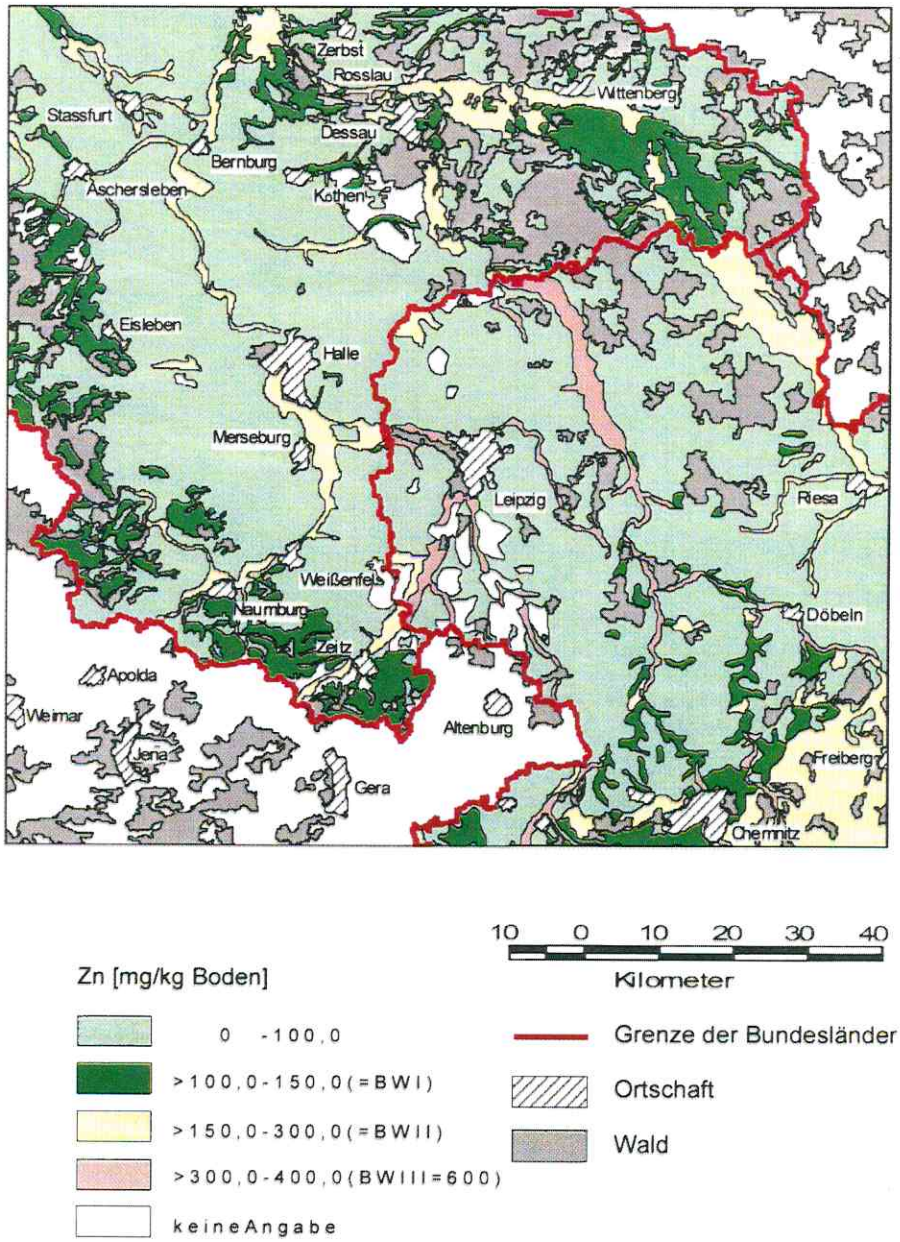


Abb. 11: 90%-Percentile der Zinkgehalte – klassifiziert nach dem Bodenwert (BW) I, II und III (für landwirtschaftliche Nutzflächen nach Eikmann und Kloke 1991) – im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Standorte der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Sachsen; Flächenbezug: aggregierte Bodeneinheiten der BÜK 400 (Sachsen: Wünsche et al. 1993; Sachsen-Anhalt: Schröder et al. 1994; Datenquelle für die Schwermetallgehalte: LAU 1996, Zierdt 1991, Altermann et al. 1995, Barth et al. 1996).

Autoren

Doz. Dr. habil. Manfred Altermann
Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz
Lichtemannsbreite 10
06118 Halle
Telefon 0345/5320594
Telefax 0345/5320594

Dr. Reinart Feldmann
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Öffentlichkeitsarbeit
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
Telefon 0341/235-2003
Telefax 0341/235-2534

Dr. Michael Steininger
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Landwirtschaftliche Fakultät
Institut für Agrartechnik und Landeskultur
Ludwig-Wucherer-Straße 85
06108 Halle
Telefon 0345/552-2770