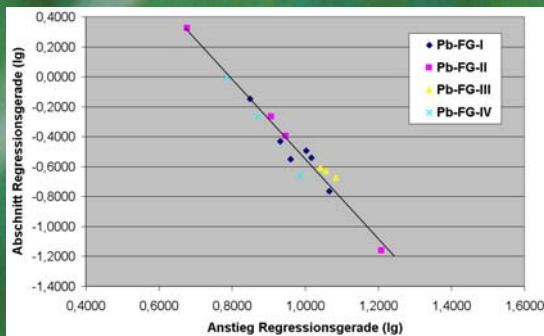


# Evaluierung Resorptionsverfügbarkeit

Schriftenreihe, Heft 3/2010



## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	6
2	Veranlassung/Aufgabenstellung .....	7
3	Datengrundlagen .....	8
3.1	Analysendaten, räumliche Zuordnung und statistische Prüfung .....	8
3.2	Grundlagen der flächenbezogenen Gliederung .....	18
4	Analyse der Korrelationsbeziehung zwischen Gesamtgehalt und resorptions- verfügbarem Gehalt .....	32
4.1	Wertepaar-Gruppierung und Signifikanzprüfung .....	32
4.2	Durchführung der Regressionsanalyse .....	35
4.2.1	Region Freiberg .....	39
4.2.2	Region Ehrenfriedersdorf/Geyer .....	43
4.2.3	Region Annaberg .....	48
4.2.4	Region Wolkenstein/Marienberg .....	51
4.2.5	Region Pobershau .....	54
4.2.6	Region Zschopauaue .....	56
4.3	Vergleich zwischen den Regionen .....	61
5	Empfehlungen für eine Ergebnisnutzung in der Praxis .....	74
6	Literaturverzeichnis .....	77

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung Probenahmepunkte und deren Kampagnenzuordnung .....	10
Abbildung 2: Probenahmepunkte Region Freiberg mit Abgrenzung BPG nach § 9 SächsABG und Zonen spezifischer Schadstoffbelastung (aus BEAK 2005).....	24
Abbildung 3: Probenahmepunkte Region Ehrenfriedersdorf/Geyer mit Abgrenzung BPG nach § 9 SächsABG und Zonen spezifischer Schadstoffbelastung (aus ARCADIS 2008).....	25
Abbildung 4: Probenahmepunkte Region Annaberg mit Abgrenzung gemäß Belastungsperzentil (aus ARCADIS 2008).....	26
Abbildung 5: Probenahmepunkte Regionen Wolkenstein/Marienberg/Pobershau mit Abgrenzung zentraler und äußerer Lagerstättenbereich Wolkenstein/Marienberg bzw. Pobershau .....	27
Abbildung 6: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Unterlauf) ..	29
Abbildung 7: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Mittellauf) ..	30
Abbildung 8: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Oberlauf)...	31
Abbildung 9: Beispiel-Scatterplot der Ausgangsregressionsbeziehung mit Prognoseband und markierten „Ausreißer“-Wertepaaren .....	36
Abbildung 10: Beispiel-Scatterplot der abschließend gefundenen Regressionsbeziehung mit Konfidenzintervall .....	36
Abbildung 11: Schematische Darstellung von Regressionsgeraden mit unterschiedlichen Steigungsmaßen.....	38
Abbildung 12: Schematische Darstellung von Regressionsgeraden mit unterschiedlichen Achsenabschnitten .....	39
Abbildung 13: Regressionsgeraden der Regionen für Arsen (Realwerte) .....	63
Abbildung 14: Regressionsgeraden der Regionen für Cadmium (Realwerte) .....	67
Abbildung 15: Regressionsgeraden der Regionen für Blei (Realwerte).....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Medianwerte im Vergleich der Regionen.....	12
Tabelle 2:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Freiberg.....	13
Tabelle 3:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Ehrenfriedersdorf/Geyer.....	14
Tabelle 4:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Annaberg.....	15
Tabelle 5:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Wolkenstein/Marienberg.....	15
Tabelle 6:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Pobershau.....	15
Tabelle 7:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten – Zschopauaue.....	16
Tabelle 8:	Statistische Kenngrößen der Analysendaten (pH-Wert, Gesamtgehalt) für Uran in den Gebieten Freiberg sowie Ehrenfriedersdorf/Annaberg.....	18
Tabelle 9:	Überblick der untersuchten Wertepaar-Gruppen.....	34
Tabelle 10:	Regressionsergebnisse Region Freiberg (Arsen).....	40
Tabelle 11:	Regressionsergebnisse Region Freiberg (Cadmium).....	41
Tabelle 12:	Regressionsergebnisse Region Freiberg (Blei).....	42
Tabelle 13:	Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Arsen).....	44
Tabelle 14:	Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Cadmium).....	45
Tabelle 15:	Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Blei).....	46
Tabelle 16:	Regressionsergebnisse Region Annaberg (Arsen).....	48
Tabelle 17:	Regressionsergebnisse Region Annaberg (Cadmium).....	49
Tabelle 18:	Regressionsergebnisse Region Annaberg (Blei).....	49
Tabelle 19:	Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Arsen).....	51
Tabelle 20:	Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Cadmium).....	52
Tabelle 21:	Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Blei).....	52
Tabelle 22:	Regressionsergebnisse Region Pobershau (Arsen).....	54
Tabelle 23:	Regressionsergebnisse Region Pobershau (Cadmium).....	55
Tabelle 24:	Regressionsergebnisse Region Pobershau (Blei).....	55
Tabelle 25:	Regressionsergebnisse Region Zschopauaue (Arsen).....	56
Tabelle 26:	Regressionsergebnisse Region Zschopauaue (Cadmium).....	58
Tabelle 27:	Regressionsergebnisse Region Zschopauaue (Blei).....	60
Tabelle 28:	Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Arsen).....	64
Tabelle 29:	Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Cadmium).....	68
Tabelle 30:	Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Blei).....	72
Tabelle 31:	Zur Abschätzung des RV-Gehalts empfohlene Regressionsgleichungen.....	75

## Abkürzungsverzeichnis

BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
SächsABG	Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz
MDM-Methode	Speichel-Magen-Darm-Methode (Milch-Säure-basiertes analytisches Aufschlussverfahren n. DIN 19738)
Element (KW)	Elementgehalt im Königswasserauszug (sog. Gesamtgehalt)
Element (AN; MOB)	Elementgehalt im Ammoniumnitratauszug bzw. mobilisierbarer Gehalt
Element (RV)	resorptionsverfügbarer Elementgehalt (bestimmt nach der Speichel-Magen-Darm-Methode); an Stelle „RV“ wird das Kürzel „MDM“ z.T. alternativ als Kennzeichnung des resorptionsverfügbaren Anteiles eines Elements genutzt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Vorgänger bis 2008 LfUG, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie)
Sn-W-Formation	pneumatolytische (überkritische) Abfolge des variszischen Mineralisationszyklus im Erzgebirge; Haupterzminerale: Kassiterit, Wolframit, Scheelit
kb-Formation	kiesige Blei(-erz) – Formation; hydrothermale (mesothermale) Abfolge des variszischen Mineralisationszyklus im Erzgebirge; Haupterzminerale: u.a. Galenit, Sphalerit; wichtigstes As-Mineral: Arsenopyrit
eb-Formation	edle Braunspat – Formation; hydrothermale (epithermale) Abfolge des variszischen Mineralisationszyklus im Erzgebirge; Haupterzminerale: u.a. Galenit, Freibergit, Silbersulfantimonide, ged. Silber
fba-Formation	fluor-barytische Formation; hydrothermale (mesothermale) Abfolge des postvariszischen Mineralisationszyklus im Erzgebirge; Haupterzminerale: u.a. Galenit, Sphalerit
BiCoNiAg(U)-Formation	hydrothermale (epithermale) Abfolge des postvariszischen Mineralisationszyklus im Erzgebirge; Hauptminerale: u.a. ged. Silber, Arsen, Wismut, Silbersulfantimonide, Kobalt-Nickel-Arsenide, untergeordn. Uran-Minerale (Uranpechblende)
PWK	Prüfwert Kinderspielflächen gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 sowie BBodSchV, Anhang II, 1.4
PWW	Prüfwert Wohngebiete gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 sowie BBodSchV, Anhang II, 1.4
PWP	Prüfwert Park/Freizeit gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 sowie BBodSchV, Anhang II, 1.4
PWI	Prüfwert Industrie/Gewerbe gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 sowie BBodSchV, Anhang II, 1.4
VW	Vorsorgewert gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Nr. 1 sowie BBodSchV, Anhang II, 4.1

## 1 Zusammenfassung

Für das Erzgebirge sind mit einer regionalen Differenzierung zum Teil großflächige Belastungen des Oberbodens mit Schadstoffen bekannt und analytisch belegt. Dabei handelt es sich insbesondere um Belastungen mit Arsen, Cadmium und Blei. Diese Bodenbelastungen sind zum einen durch die metallogenetische Situation sowie die intensive Vererzung, zum anderen in der Jahrhunderte langen bergmännischen Ausbeutung dieser Rohstoffe und ihrer lokalen Verarbeitung bedingt. Neben den Gesamtgehalten ist für die Beurteilung möglicher direkter Einwirkungen dieser Schadstoffe auf den Menschen die jeweilige Resorptionsverfügbarkeit von großer Bedeutung. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Evaluierung der Resorptionsverfügbarkeiten von Schadstoffen aus Böden der Erzgebirgsregion“ des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen (LfULG) erfolgten erstmalig übergreifend Untersuchungen, ob und in welchem Umfang Unterschiede bzw. Zusammenhänge hinsichtlich der Resorptionsverfügbarkeit dieser Stoffe zwischen erzgebirgischen Teilregionen bestehen.

Für das Vorhaben standen zunächst für das Untersuchungsgebiet 586 Analysendatensätze zur Verfügung, die neben Angaben zu Elementgesamtgehalten (Königswasserauszug) auch die zugehörigen resorptionsverfügbaren Gehalte (RV-Gehalt gem. Speichel-Magen-Darm-Methode nach DIN 19738) umfassten. Zur Verbesserung der Datenbasis wurden durch gezielte Bodenprobenahme und Analytik weitere 50 Datensätze hinzugewonnen. Dabei erfolgte erstmalig in diesem Umfang auch eine Untersuchung auf Uran und dessen Resorptionsverfügbarkeit.

Nach einer detaillierten statistischen Prüfung und Bewertung der Datenbestände erfolgte deren Gruppierung elementspezifisch nach einer hierarchischen Klassenstruktur. Diese gliederte die Datensätze nach Zugehörigkeit zu den Teilregionen Freiberg, Ehrenfriedersdorf/Geyer, Annaberg, Wolkenstein-Marienberg, Pobershau und Zschopauaue. Innerhalb dieser Regionen erfolgte die weitere Gliederung über spezifische Belastungscharakteristiken, dann nach Innerorts- und Außerortslage und Flächennutzung. Die Vergleichsuntersuchungen an den gebildeten Wertepaarklassen erfolgten mit Hilfe einer umfassenden Regressionsanalyse. Alle Fälle, für die eine statistisch signifikante Korrelationsbeziehung zwischen Gesamtgehalt und RV-Gehalt ermittelt werden konnte, sind in einem umfänglichen Bewertungs- und Vergleichsverfahren betrachtet worden. Dies geschah zunächst über die Parameterpaare Anstieg und Abschnitt der logarithmischen Korrelationsfunktionen. Zum Vergleich der Beziehungen zwischen Gesamtgehalt und RV-Gehalt wurde über die jeweiligen Umkehrfunktionen wieder der Realwertbezug zu Gehalten (mg/kg) bzw. Gehaltsanteilen (%) hergestellt. Durch elementspezifische Klassenvergleiche innerhalb der Teilregionen sowie zwischen den Teilregionen werden Zusammenhänge und Unterschiede hinsichtlich des RV-Verhaltens herausgearbeitet, die in entsprechend differenzierte Gleichungssysteme münden.

Abschließend werden Empfehlungen gegeben, welche Beziehungen für eine orientierende Ableitung des RV-Gehalts auf Basis analysierter Gesamtgehalte im ordnungsbehördlichen Handeln zweckmäßigerweise Verwendung finden können.

## 2 Veranlassung/Aufgabenstellung

In den Böden des Erzgebirges finden sich heute regional großflächig erhöhte Gehalte einer Vielzahl von Elementen, begründet zum einen durch die besondere geogene Prägung (Vererzungsreichtum), zum anderen durch die damit in engem Zusammenhang stehenden, oft über Jahrhunderte reichenden menschlichen Aktivitäten zur Gewinnung und Verarbeitung dieser Bodenschätze. Besondere Bedeutung besitzen dabei Arsen sowie die Schwermetalle Cadmium, Blei und regional Uran. Die für diese Elemente festgestellten Konzentrationen im Oberboden begründen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes § 2 (3) und (4) insbesondere in den Zentren der Bergbaugebiete und den Auen des Muldensystems den Verdacht schädlicher Bodenveränderungen. Durch die flächenbezogenen Detailuntersuchungen im Rahmen der fachlichen Arbeiten zur Ausweisung von Bodenplanungsgebieten ist dieser Verdacht in den Regionen Freiberg, Ehrenfriedersdorf/Geyer sowie in der Aue der Zschopau als bestätigt anzusehen.

Die Schadstoffbelastungen finden sich sowohl auf landwirtschaftlich genutzten Flächen als auch und oftmals besonders ausgeprägt in den Siedlungsbereichen. Hier ist weniger der Schadstoffübertritt in Nahrungs- und Futtermittel, sondern die Gefahr einer direkten oralen Aufnahme belasteter Bodenmatrix durch den Menschen, vornehmlich durch Kinder, von Bedeutung. Überschreiten die Schadstoffkonzentrationen im Boden die nutzungsdifferenzierten Prüfwerte der BBodSchV, muss eine weitere Sachverhaltsermittlung klären, ob der Gefahrenverdacht bestätigt oder ausgeräumt werden kann. Insbesondere im Hinblick auf den Expositionspfad Boden - Mensch ist es wichtig, sachliche und möglichst sichere, nutzungsspezifisch hergeleitete Belastungsgrenzen für eine Gefahrenbeurteilung und das sich anschließende ordnungsbehördliche Handeln zu definieren. Den Rahmen dafür bilden die Bundesbodenschutzverordnung und die darin enthaltenen Maßstäbe bei der Werteableitung.

Die tatsächliche Exposition des Menschen im Hinblick auf die schädliche Wirkung von Einzelelementen ist nicht nur von der Stoffkonzentration im Boden und der Menge an aufgenommenem = verschlucktem Boden abhängig, sondern bemisst sich an dem verdauungsspezifisch verfügbaren, also resorbierbaren Anteil. Vor diesem Hintergrund wurden in der jüngeren Vergangenheit bodenanalytische Untersuchungen im Sinne eines „Gesamt-Gehalts“ aus dem Königswasserauszug (KW) in zunehmendem Maße durch Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738, dem so genannten „Speichel-Magen-Darm-Modell“ (MDM), ergänzt.

Bei einer ersten groben Durchsicht der vorliegenden Analysenwertepaare der elementspezifischen Resorptionsverfügbarkeit im Bezug zum jeweiligen Gesamtgehalt (KW) im Oberboden durch das LfULG deutete sich ein gewisser regelhafter Zusammenhang an. Sollte es gelingen, regional gültige und statistisch abgesicherte Beziehungen zu definieren, könnten diese in einem ersten Schritt als Orientierungshilfe bei Überschreitung von Prüfwerten genutzt werden. Mit dem vom LfULG in Auftrag gegebenen Forschungsvorhaben „Evaluierung der Resorptionsverfügbarkeit von Schadstoffen aus Böden der Erzgebirgsregion“ sollen daher für die Elemente Arsen, Cadmium, Blei alle bisher für die Erzgebirgsregion vorliegenden Daten einer übergreifenden Analyse und Bewertung

unterzogen werden, um im zweiten Schritt gegebenenfalls regelhafte Annahmen zur Beurteilung der Resorptionsverfügbarkeit abzuleiten.

Im Kern stützt sich die Untersuchung der Wertepaare auf das statistische Verfahren der Regressionsanalyse. Die jeweiligen Klassenbildungen erfolgen dabei unter Berücksichtigung allgemein bekannter, aber auch im Rahmen aktueller Untersuchungen neu gewonnener Gesetzmäßigkeiten der Schadstoffverteilung (Erarbeitung der fachlichen Grundlagen zur Festlegung von Bodenplanungsgebieten nach § 9 SächsABG für die Region Freiberg, den Raum Ehrenfriedersdorf/Geyer und die Zschopauaue in Form von Kartenwerken; BEAK CONSULTANTS GMBH 2005/2007; ARCADIS CONSULT GMBH 2008).

Um für die als relevant erkannten regionalen Zuordnungsklassen statistisch ausreichende Stichprobenumfänge zu erhalten und die ermittelten Zusammenhänge besser absichern zu können, erfolgte im Rahmen der Projektbearbeitung die Gewinnung von 50 zusätzlichen, gezielt platzierten Bodenproben und deren Analyse auf As, Cd und Pb. Erstmals für den erzgebirgischen Raum wurden dabei zusätzlich zu Gesamtgehalten auch die Resorptionsverfügbarkeiten von Uran untersucht. Im Gesamtrahmen des Projektes sollen damit auch für Uran erste orientierende Werteverhältnisse diskutiert werden.

### **3 Datengrundlagen**

#### **3.1 Analysendaten, räumliche Zuordnung und statistische Prüfung**

Im Rahmen des Projektes finden grundsätzlich nur solche Primärdatensätze Verwendung, für welche die einzelementspezifischen Analysen mindestens als Wertepaare aus Gesamtgehalten (KW) sowie resorptionsverfügbaren Gehaltsanteilen (MDM) vorliegen. Soweit analytisch auch der pflanzenverfügbare, mobile Gehalt (Ammoniumnitrat auszugs) bestimmt wurde, wird dieser in den Wertetabellen mitgeführt und findet, sofern erforderlich, bei der Ergebnisbewertung Berücksichtigung.

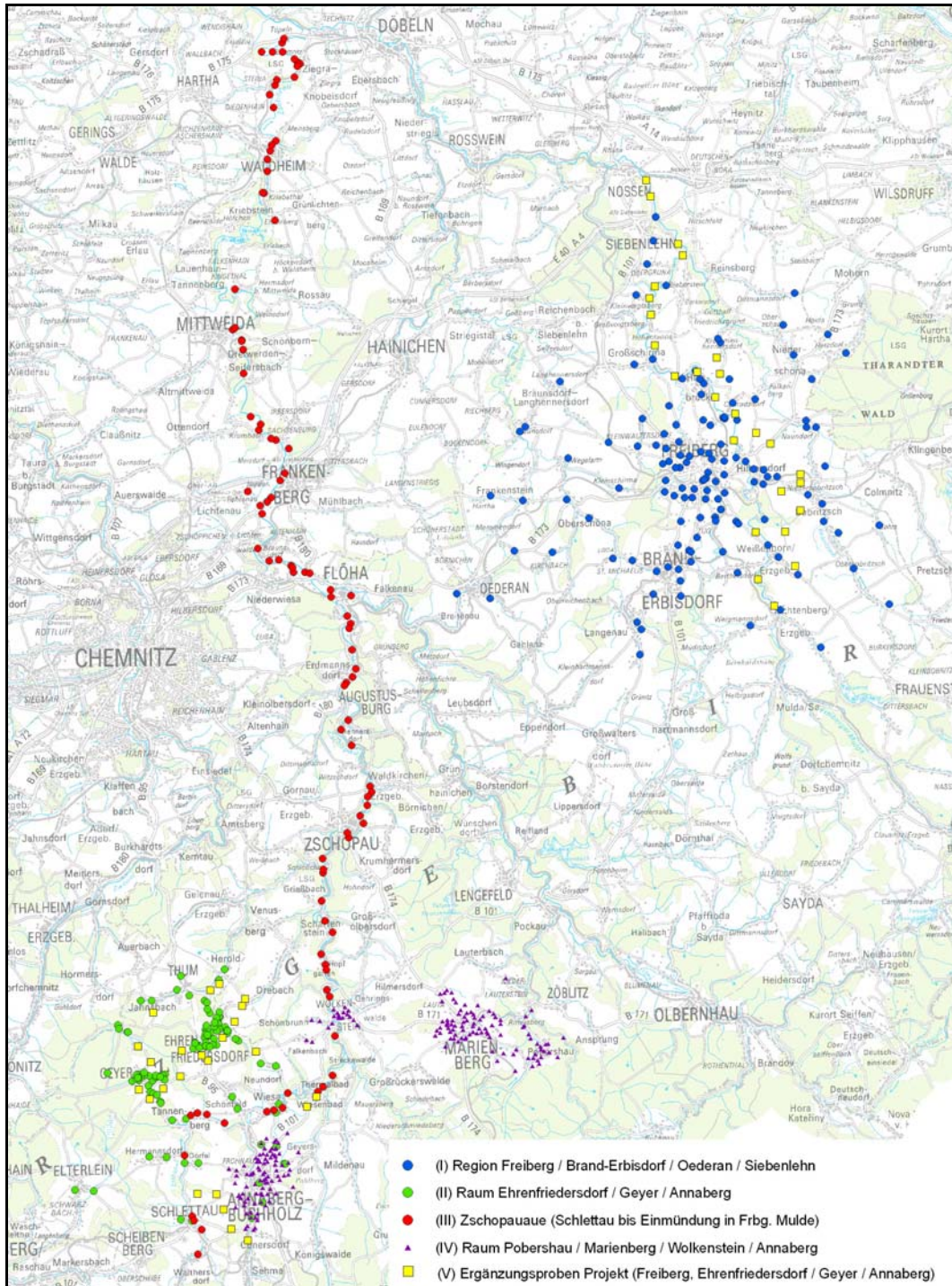
Für die Evaluierungsbetrachtungen standen einschließlich der bereits vorliegenden Analysen des LfULG in Summe 586 Analysendatensätze von Oberbodenproben folgender Untersuchungskampagnen mit regionalem Bezug zur Verfügung:

(I)	Freiberg/Brand-Erbisdorf/Oederan/Siebenlehn	132
(II)	Ehrenfriedersdorf/Geyer/Annaberg	104
(III)	Zschopauaue (von Ortslage Schlettau bis Einmündung in Freiburger Mulde)	100
(IV)	Pobershau/Marienberg/Wolkenstein/Annaberg	200
(V)	Ergänzungsproben dieses FuE-Vorhabens	50

Die Abbildung 1 zeigt eine Übersicht zur räumlichen Verteilung aller in die Untersuchungen eingeflossenen Probenahmepunkte und deren Kampagnenzuordnung.



Die Analysendaten der Kampagnen (I) – (III) wurden bereits im Zusammenhang mit der Erarbeitung von Kartenwerken mit der Darstellung der fachlichen Grundlagen zur Festlegung von Bodenplannungsgebieten (BPG) nach § 9 SächsABG für die Region Freiberg, den Raum Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopauaue (BEAK CONSULTANTS GMBH 2005/2007; ARCADIS CONSULT GMBH 2008) detailliert untersucht. Dabei wurde die statistische Konsistenz und uneingeschränkte Verwendbarkeit der Analysenergebnisse sicher belegt. Im Besonderen bestätigten die dafür durchgeführten Ausreißer-Tests die markante metallogentisch bedingte Arsen-Dominanz im Gebiet Ehrenfriedersdorf/Geyer zum einen und die ebenso markante Cadmium- und Blei-Prägung im Bereich Freiberg.



**Abbildung 1: Verteilung Probenahmepunkte und deren Kampagnenzuordnung**

Deutlich differenzierter zeigt sich die Situation für die untersuchte Zschopauaue: In ihrem Verlauf erfasst die Zschopau verschiedenste metallogenetische Einheiten bzw. Verzungsstrukturen, die gemeinsam mit den durch Sedimenttransport bedingten „Verlagerungs- und Verschmierungseffekten“ die Bodenbelastungsprofile prägen. Daher bilden die für das Gesamtgebiet der Aue ermittelten

statistischen Grundkenngrößen (u. a. Mittelwert, Median, Standardabweichung) die tatsächliche Situation nicht eindeutig bzw. differenziert genug ab (vergleiche dazu auch KARDEL & RANK 2008).

Mit der Untersuchungskampagne (IV) wurden die Gebiete der im mittleren Erzgebirge ebenfalls wichtigen Lagerstättenreviere Annaberg, Wolkenstein, Marienberg sowie Pobershau auf ein den Regionen Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Geyer annähernd vergleichbares Untersuchungsniveau gebracht. Eine den Regionen Freiberg bzw. Ehrenfriedersdorf/Geyer vergleichbare Prägung hinsichtlich des Gehaltsniveaus der Einzelelemente findet sich hier jedoch nicht. Dieser Umstand kann zum einen auf die hier deutlich geringere Intensität und Extensität der hydrothermalen Erzgänge mit As, Pb, Zn (Cd) gegenüber dem Freiburger Lagerstättenrevier zurückgeführt werden, zum anderen spielen die Sn-As-Mineralisationen im Vergleich zu Ehrenfriedersdorf-Geyer aufgrund der zunehmenden Entfernung zur Granitoberfläche als Erzbringer nur eine untergeordnete Rolle. Darüber hinaus finden sich keine den Regionen Freiberg bzw. Ehrenfriedersdorf vergleichbaren Teilgebiete mit markant prägenden, anthropogenen Immissionseinflüssen.

Eine Sonderrolle nimmt die Untersuchungskampagne (V) ein. Im Zuge erster Untersuchungen an Wertekollektiven der Kampagnen (I) – (III) ließ sich für eine größere Zahl an Teilkollektiven kein ausreichender Stichprobenumfang für eine statistisch signifikante Regressionsanalyse bilden. Dieser Umstand konnte durch eine gezielte Beprobung weiterer 50 Punkte und entsprechender analytischer Untersuchungen im Rahmen dieses FuE-Vorhabens zumindest teilweise behoben werden. Nähere Ausführungen zu dieser Untersuchungskampagne finden sich im Gliederungspunkt 3.2.

Die statistische Prüfung der Analysendaten wurde nach erfolgter Probenzuordnung und Neugruppierung sämtlicher 586 Ausgangsdatensätze zu den nachfolgend genannten sechs Regionen (im Sinne von Lagerstättenrevieren bzw. metallogenetischen Einheiten) durchgeführt:



Die Berechnungen und Untersuchungen der elementaren statistischen Kennwerte erfolgte zum überwiegenden Teil mit Hilfe der Software STATISTICA 6.1 (Copyright ©, StatSoft Inc., 1984 - 2004), teilweise wurden spezifische Funktionen von Excel (Copyright ©, Microsoft Corp., 1985 - 2001) genutzt.

Die statistische Untersuchung der Analysendaten erfolgte differenziert nach Element und Bestimmungsmethode und umfasst auch den pH-Wert des Bodens. Auf eine ausführliche Einzeldiskussi-

on der ermittelten Kenngrößen zu den Analysedaten wird im Rahmen dieses Berichtes bewusst verzichtet. Anhand der in Tabelle 1 gegenübergestellten Medianwerte des jeweiligen Gesamtdatenumfanges der unterschiedenen sechs Regionen wird ein Kurzvergleich ermöglicht.

**Tabelle 1: Übersicht der Medianwerte im Vergleich der Regionen**

Region	Freiberg	Ehrenfriedersdorf	Annaberg	Wolkenstein -	Pobershau	Zschopau- aue	Referenzwert
pH-Wert	6,2	5,6	5,9	5,9	5,6	5,9	
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	140	261	67,5	58,0	68,0	118	25 *)
CD_KW	3,45	1,20	0,90	0,90	0,70	1,40	1 **)
PB_KW	425	115	140	110	99,5	142	70 **)
AS_MOB	0,053	0,033	0,013				
CD_MOB	0,060	0,034	0,028				
PB_MOB	0,066	0,058	0,073				
AS_MDM	42,5	34,6	16,0	15,0	14,5	16,7	
CD_MDM	2,03	0,479	< 1	< 1	< 1	0,496	
PB_MDM	140	17,8	33,5	26,5	28,0	23,9	

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

Feld grau hinterlegt = es erfolgte keine Analytik

In den Tabelle 2 bis 7 sind aufgeschlüsselt nach den Regionen weitere statistische Grundkenngrößen dargestellt. Die tabellarische Gesamtübersicht zu allen berechneten statistischen Kenngrößen für die unterschiedenen Regionen findet sich in der Anlage 1 zum Bericht.

Die jeweiligen Stichprobenumfänge (siehe oben) waren für die Ermittlung der statistischen Kennwerte grundsätzlich ausreichend. Analytisch ermittelte Gehalte unterhalb der element- und verfahrensspezifischen unteren Bestimmungsgrenze (< BG) wurden jeweils mit dem angenommenen halben Wert der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Dieses Verfahren wird üblicherweise angewandt, um bei einer größeren Anzahl von Einzelwerten < BG anteilig am regionalen Stichprobenumfang keine unlogisch hohen „statistischen“ Belastungslevel bzw. Gehaltsanteile (MDM) darzustellen. Im Besonderen war dies hier für die Regionen Wolkenstein/Marienberg sowie Pobershau beim Cadmium notwendig. Vergleiche dazu in der Anlage 1 den jeweiligen Modus und dessen Häufigkeit. Alle Gehaltsbestimmungen im Ausreißer-Sinne (sehr hohe Werte) wurden ebenfalls berücksichtigt. Zum einen war in allen Fällen eine für die Gebietsituation plausible sachliche Erklärung der Werte möglich. Zum anderen konnte ausgeschlossen werden, dass durch die wenigen Ausreißer eine signifikante Beeinflussung der statistischen Kennwerte erfolgte.

Wo zweckmäßig und geboten, werden neben den Aussagen unter diesem Gliederungspunkt im Zusammenhang mit der Ergebnisdarstellung der Untersuchung der Korrelationsbeziehungen im Gliederungspunkt 4 und den Empfehlungen zur Ergebnismutzung (Gliederungspunkt 5) weitere Bezüge zu den ermittelten statistischen (Gehalts-)Kennwerten hergestellt.

Die Oberböden der **Region Freiberg** sind im Unterschied zu allen fünf weiteren untersuchten Regionen durch alle drei Elemente Arsen, Cadmium und Blei gleichermaßen auf einem hohen bis sehr hohen Belastungsniveau geprägt (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2: Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Freiberg**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		158	6,1	6,2	7,1	4,1	7,7	0,8
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	158	306	140	820	20,0	2.500	414
CD_KW	1 **)	158	6,50	3,45	16,0	0,10	39,0	7,08
PB_KW	70 **)	158	867	425	2.100	56,0	5.000	945
AS_MOB		158	0,124	0,053	0,290	0,004	1,40	0,213
CD_MOB		158	0,412	0,060	0,930	0,002	11,0	1,21
PB_MOB		158	2,82	0,066	5,50	0,006	110	11,2
AS_MDM		158	72,0	42,5	170	1,07	670	88,1
CD_MDM		156	3,45	2,03	7,60	0,245	24,0	3,78
PB_MDM		158	231	140	560	14,0	1.700	248

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

Die Mediane für die Gesamtgehalte überschreiten dabei den Prüfwert für Kinderspielflächen etwa 6-fach beim Arsen bzw. 2-fach beim Blei (PWK Pb = 200 mg/kgTS), der Cd-Gesamtgehalt den Prüfwert von 2 mg/kgTS für Kinderspielflächen und Wohngebiete bei kombinierter Nutzung Garten und Kinderspiel (Wohngartenszenario) ca. 2-fach. Die Überschreitung der Vorsorgewerte (VW) gemäß BBodSchG, § 8 Abs. 2 Nr. 1 fällt noch deutlicher aus (VW Cd = 1 mg/kgTS und Pb = 70 mg/kgTS, jeweils aus dem Königswasseraufschluss). Diese Belastungssituation ist zunächst grundsätzlich auf die fast flächendeckende, sehr dichte Scharung erzeicher Gangstrukturen (über 1.000 bekannte Erzgänge) der kb-, eb-, fba- und BiCoNiAg(U)-Formation und deren oft oberflächennahen Anschnitt zurückzuführen. Darüber hinaus wurde der über Jahrhunderte währende Bergbau in der Region durch eine intensive Erzaufbereitungs- und Verhüttungsindustrie begleitet, welche sich vorrangig im Osten der Stadt Freiberg, in unmittelbarer Nähe zur Freiburger Mulde (→ Prozesswasser) ansiedelte. Entsprechend den vorherrschenden westlichen Windrichtungen konnten sich die Emissionen auf ein sehr großes Gebiet im Osten, bis an den Tharandter Wald reichend, verteilen. Die Immissionsanteile am Belastungsprofil der Oberböden in diesem östlichen Gebiet überwiegen zum Teil erheblich den geogenen Anteil, da die Vererzungsintensität östlich der Freiburger Mulde bereits wieder deutlich abklingt. Die normale, regionaltypische Hintergrundbelastung der Oberböden mit Arsen, Cadmium und Blei für Gebiete mit nicht oder nur sporadisch auftretenden und meist nur gering erzführenden Gangstrukturen findet sich vorrangig im Westen der Freiburger Region.

Neben der Region Freiberg finden sich auch in der (Lagerstätten-) **Region Ehrenfriedersdorf/Geyer** auffällig Arsen-geprägte Böden (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3: Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Ehrenfriedersdorf/Geyer**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		108	5,6	5,6	6,5	3,2	7,9	0,8
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	108	617	261	1.300	25,0	13.000	1.363
CD_KW	1 **)	108	1,75	1,20	3,30	0,10	20,7	2,41
PB_KW	70 **)	108	214	115	287	31,0	2.420	365
AS_MOB		108	0,278	0,033	0,440	0,013	9,20	1,04
CD_MOB		108	0,069	0,034	0,160	0,001	1,20	0,137
PB_MOB		108	0,671	0,058	1,20	0,007	20,0	2,32
AS_MDM		108	102	34,6	240	1,32	2.540	273
CD_MDM		108	0,628	0,479	0,923	0,057	9,28	0,993
PB_MDM		108	40,4	17,8	49,2	2,58	614	81,4

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

Der Median des Gesamtgehaltes beträgt hier ca. das 10-Fache des Prüfwertes für Kinderspielflächen und noch fast das 2-Fache des Prüfwertes für Industrie- bzw. Gewerbeflächen (140 mg/kg TS). Hier stammt das Arsen allerdings im Unterschied zum Freiburger Revier ganz überwiegend aus den Erzmineralen der Sn-W-Formation, welche sich im vergleichsweise oberflächennahen Kontaktsaum eines Granitintrusivkörpers in Imprägnationszonen sowie in steil aufsitzenden Gängen und so genannten Trümmern finden. Im Einflussbereich der Immissionen kleinerer historischer Verhüttungsbetriebe (Arsenik-Hütten) kam es zusätzlich zu teilweise extremer Anreicherung von Arsen im Oberboden. Insofern sind die hohen Gesamtgehalte für Arsen hinsichtlich der lokalen Ausreißereinflüsse zu relativieren. Der mäßig erhöhte Median der Cadmium-Konzentration überschreitet den Vorsorgewert lt. BBodSchV von 1 mg/kg nur knapp und dürfte im Unterschied zum Arsen fast ausschließlich geogener Herkunft sein. Das Niveau der Blei-Belastung (der Median des Gesamtgehaltes erreicht etwa das 1,5-Fache des VW) ist dem der anderen untersuchten Regionen mit Ausnahme von Freiberg vergleichbar.

Die weiterhin untersuchten (Lagerstätten-) **Regionen Annaberg** (statistische Kenngrößen siehe dazu in Tabelle 4) und **Wolkenstein/Marienberg** (vgl. Tabelle 5) zählen mit ihren Schwerpunktminalisationen zur BiCoNiAg(U)-Formation, während sich das Lagerstättengebiet **Pobershau** (vgl. Tabelle 6) hinsichtlich der prägenden Mineralisationen, wie Ehrenfriedersdorf/Geyer der Sn-W-Formation zuordnet.

**Tabelle 4: Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Annaberg**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		108	5,9	5,9	6,9	4,1	7,3	0,7
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	108	106	67,5	150	26,0	2.400	229
CD_KW	1 **)	108	1,02	0,90	1,90	0,10	4,0	0,669
PB_KW	70 **)	108	182	140	320	45,0	960	140
AS_MOB		20	0,016	0,013	0,015	0,013	0,064	0,011
CD_MOB		20	0,043	0,028	0,105	0,001	0,110	0,038
PB_MOB		20	0,152	0,073	0,535	0,007	0,660	0,202
AS_MDM		108	26,1	16,0	45,0	3,34	530	51,6
CD_MDM		108	0,534	< 1	< 1	0,129	2,00	0,226
PB_MDM		108	49,9	33,5	100	5,0	300	51,8

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

**Tabelle 5: Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Wolkenstein/Marienberg**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		84	5,8	5,9	6,7	4,3	7,4	0,7
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	84	74,0	58,0	140	26,0	270	49,9
CD_KW	1 **)	84	1,16	0,90	1,80	0,30	9,70	1,06
PB_KW	70 **)	84	133	110	250	27,0	420	81,3
AS_MDM		84	18,5	15,0	39,0	5,0	94,0	14,9
CD_MDM		84	0,588	< 1	< 1	0,50	3,10	0,355
PB_MDM		84	36,2	26,5	82,0	5,0	160	30,5

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

**Tabelle 6: Statistische Kenngrößen der Analysendaten - Region Pobershau**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		28	5,5	5,6	6,2	4,5	6,6	0,5
<b>Element_Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	28	122	68,0	230	33,0	520	119
CD_KW	1 **)	28	1,05	0,70	2,0	0,20	5,50	1,05
PB_KW	70 **)	28	109	99,5	200	34,0	230	47,6
AS_MDM		28	26,2	14,5	53,0	5,0	130	30,9
CD_MDM		28	0,636	< 1	< 1	0,50	3,30	0,555
PB_MDM		28	29,0	28,0	48,0	5,0	54,0	12,6

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

Die Belastungsprofile bezüglich As, Cd und Pb im Oberboden der drei genannten Regionen ähneln sich deutlicher und liegen, verglichen mit den oben erläuterten Regionen Freiberg bzw. Ehrenfriedersdorf/Geyer, auf deutlich niedrigerem Niveau. Der Median des Gesamtgehaltes für Arsen erreicht allerdings immer noch etwa das 2-Fache des Prüfwertes Kinderspielflächen bzw. etwa das Niveau des PW Wohngebiets (50 mg/kg TS). Der Gesamtgehaltsmedian für Cadmium liegt in allen drei Fällen unter dem Vorsorgewert von 1 mg/kg TS. Der Gesamtgehaltsmedian für Blei erreicht etwa den 1,5-fachen (Wolkenstein/Marienberg, Pobershau) bzw. 2-fachen (Annaberg) Vorsorgewert. Diese unkritischere Belastungssituation wird vorrangig mit dem deutlich größeren Oberflächenabstand des Erzbringer-Granits, der etwas geringeren Gangdichte im Oberflächenniveau sowie der damit verbundenen größeren Elementdispersion bei der Bodenbildung begründet.

Auf die Sonderstellung der Bodenbelastungssituation im Bereich der **Zschopauaue** (vgl. Tabelle 7) wurde oben bereits eingegangen. Insofern sind die für den gesamten Zschopauauen-Verlauf ermittelten Gesamtgehaltsmedianwerte differenziert zu beurteilen. Hierzu wird explizit auf den aktuellen Bericht zum Auenmessprogramm des LfULG (KARDEL & RANK 2008) verwiesen. Für die Auen der Freiburger Mulde (→ Region Freiberg) und in räumlich begrenzterem Maß der Wilisch sowie des Geyerbaches (→ Region Ehrenfriedersdorf/Geyer) trifft diese Aussage auch zu.

Ergänzend zu den Analysendatensätzen liegen eine Reihe bodenkundlicher Angaben zu den Probenahmepunkten vor, welche je nach Bedarf für Datensatzgruppierungen im Zuge der eigentlichen Regressionsanalyse bzw. für die abschließende Ergebnisdiskussion Verwendung gefunden haben.

**Tabelle 7: Statistische Kenngrößen der Analysendaten – Zschopauaue**

Analysenparameter	Referenzwert BBodSchV	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
pH-Wert		100	6,0	5,9	7,1	4,0	7,7	0,8
<b>Element Aufschlussverfahren</b>	[mg/kg]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
AS_KW	25 *)	100	191	118	453	9,0	802	173
CD_KW	1 **)	100	1,68	1,40	3,0	0,10	4,90	0,929
PB_KW	70 **)	100	159	142	255	12,0	918	108
AS_MDM		100	34,1	16,7	90,5	1,22	211	45,1
CD_MDM		100	0,584	0,496	1,09	0,046	2,05	0,350
PB_MDM		100	29,2	23,9	51,4	2,91	200	22,7

\*) = Prüfwert für Nutzung Kinderspielflächen gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 1.4

\*\*\*) = Vorsorgewert gem. BBodSchV, Anh. II, Pkt. 4.1 (bezogen auf die dominierende Bodenart im Untersuchungsgebiet „Lehm/Schluff“)

Entsprechend der methodischen Vorgabe der Aufgabenstellung wurde auf Grundlage der zunächst verfügbaren Analysendatenbestände für die Regionen Freiberg sowie Ehrenfriedersdorf/Geyer (inkl. Bereich Annaberg) geprüft, ob aus den Untersuchungskampagnen (I) bis (IV) bei zweckmäßiger Untersuchungsklassenbildung ein Mindestumfang von Wertepaarkollektiven für signifikante Korrelationsbeziehungen vorliegt. Aus diesem Ergebnis heraus erfolgte die Positionierung der im Rahmen des FuE-Vorhabens geplanten 50 zusätzlichen Probenahmepunkte (→ Untersuchungs-



kampagne (V)). Damit sollten im Abgleich mit dem bisher vorliegenden Probenahmernetz Lücken geschlossen und die Wertekollektive sinnvoll ergänzt werden.

Die Nachbeprobungspunkte verteilen sich dabei wie folgt (vgl. dazu auch Abbildung 2 bis 4):

- |  |           |
|--|-----------|
| • Region Freiberg, belasteter Auenbereich der Freiburger Mulde   | 16 Punkte |
| • Region Freiberg, Immissionseinfluss der Hütten                 | 10 Punkte |
| • Region Ehrenfriedersdorf/Geyer, Immissionseinfluss der Hütten  | 2 Punkte  |
| • Region Ehrenfriedersdorf/Geyer, zentrales Lagerstättengebiet   | 11 Punkte |
| • Region Ehrenfriedersdorf/Geyer, Lagerstättenrandgebiete        | 5 Punkte  |
| • Region Ehrenfriedersdorf/Geyer, belasteter Bereich Wilisch-Aue | 1 Punkte  |
| • Region Annaberg, westlicher Randbereich der Lagerstätte        | 5 Punkte  |

Die bodenkundlichen Feldarbeiten umfassten die Probenentnahme jeweils aus dem Ober- und dem Unterboden entsprechend den Vorgaben der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSCHV 1999), die Bodenansprache nach der „Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5)“ (BGR, AG BODEN 2005) und unter Berücksichtigung der „Kartier- und Erfassungsvorschrift für Bodenkundliche Profilaufnahmen“ (LFUG 2005). Mittels der Software UBODEN.net erfolgte die digitale Erfassung der Aufschlussinformationen in der zentralen Bodendatenbank des LfULG Sachsen.

Am Material der Oberbodenproben erfolgte die Analytik auf die Elemente Arsen, Cadmium, Blei und Uran. Ermittelt wurden die Gesamtgehalte (Königswasserauszug; As/Cd/Pb: DIN EN ISO 11885; U: DIN EN ISO 17294-2), die jeweils resorptionsverfügbaren Gehalte gem. DIN 19738 („Speichel-Magen-Darm-Methode“ mit Zusatz von Milchpulver) sowie die mobilen, pflanzenverfügbaren Gehalte (Ammoniumnitrat-Extrakt; As/Cd/Pb: DIN EN ISO 11885; U: DIN EN ISO 17294-2). Die ermittelten Gesamtgehalte der Einzelelemente Arsen, Cadmium und Blei ordnen sich gut in die bereits bekannten Wertenniveaus der untersuchten Regionen ein. Diese Feststellung gilt grundsätzlich auch für das Element Uran. Im mit den Nachuntersuchungen erfassten Gebiet lehnt sich das Niveau der ermittelten Uran-Gesamtgehalte ausnahmslos dem allgemein niedrigen Niveau der aus dem Bodenmessnetz des Landes Sachsen bekannten geogen definierten Hintergrundbelastung an (vgl. LFUG 1999: Bodenatlas des Freistaates Sachsen). Es besteht zwischen den mit der Nachbeprobung separat betrachteten Regionen Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Annaberg kein erheblicher Wertenniveaunterschied (siehe dazu Tabelle 8).

**Tabelle 8: Statistische Kenngrößen der Analysendaten (pH-Wert, Gesamtgehalt) für Uran in den Gebieten Freiberg sowie Ehrenfriedersdorf/Annaberg**

Analysenparameter	Gült. N	Mittelw.	Median (P50)	P90	Min	Max	Stdabw.
		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
<b>Alle Daten</b>							
pH-Wert	50	5,8	5,8	6,6	4,3	7,9	0,8
U_KW	50	2,52	2,30	3,80	1,20	6,20	0,986
U_MDM	50	0,716	< 1	1,25	< 1	3,10	0,501
<b>Freiberg</b>							
pH-Wert	26	5,8	5,8	6,6	4,4	7,2	0,8
U_KW	26	2,91	2,75	4,10	1,20	6,20	1,17
U_MDM	26	0,896	< 1	1,90	< 1	3,10	0,642
<b>Ehrenfriedersdorf/Annaberg</b>							
pH-Wert	24	5,9	6,0	6,4	4,3	7,9	0,8
U_KW	24	2,09	1,95	2,80	1,50	3,0	0,456
U_MDM	24	0,521	< 1	< 1	< 1	1,0	0,102

**Anmerkung:**

analytische untere Bestimmungsgrenze für Uran (KW; Gesamtgehalt) beträgt 0,5 mg/kg TR, die Bestimmungsgrenze für den resorptionsverfügbaren Gehalt (MDM) beträgt 1 mg/kg TR

Trotz der niedrigen analytischen Bestimmungsgrenzen sowohl für das resorptionsverfügbare Uran (1 mg/kg TR), als auch für das pflanzenverfügbare Uran (0,005 mg/kg TR) wurden jeweils nur wenige Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Aus diesem Grunde wurde auf eine statistische Auswertung der Gesamtgehaltsanteile (AN, RV bzw. MDM) sowie eine Einbeziehung der Uran-Werte in die Regressionsuntersuchungen zur Bestimmung der Korrelationsbeziehung „Gesamtgehalt/resorptionsverfügbarer Gehalt“ verzichtet.

### 3.2 Grundlagen der flächenbezogenen Gliederung

Um eine sinnvolle Klassenbildung der im vorhergehenden Kapitel erläuterten Analysendaten für die Untersuchung der statistischen Beziehungen zwischen Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten zu ermöglichen und für die abschließende Bewertung der Analyseergebnisse werden über die topografischen Grundinformationen hinaus eine Reihe zusätzlicher flächenbezogener Daten und Informationen benötigt bzw. genutzt. Um zunächst ein möglichst differenziertes Bild zu erhalten, wurden die Daten in vier Gliederungsebenen in Teilkollektive zerlegt. Damit sollte der tatsächliche Einfluss der Faktoren auf die Resorptionsverfügbarkeit abgeleitet und damit dessen Relevanz geprüft werden. In einem zweiten Schritt sollten die sich nicht signifikant unterscheidenden Teilkollektive im Sinne einer besseren Praktikabilität wieder vereint werden.

Entsprechend ihrer Bedeutung für die primären, geogen bedingten Belastungscharakteristiken von Bodenprofilen erfolgte in der *ersten Gliederungsebene* der Datenmatrix die räumliche „Zuordnung zu Lagerstättenrevieren/Vererzungsstrukturen bzw. zu metallogenetischen Einheiten“. Die entspre-

chenden Informationen wurden den geologischen Karten des Freistaates Sachsen (GK 25, M 1:25.000) sowie der metallogenetischen Übersichtskarte Erzgebirge – Vogtland (M 1:100.000) entnommen (WASTERNACK et. al. 1995).

Folgende Gebietsabgrenzungen wurden vorgenommen:

- *Region Freiberg:* entspricht dem erweiterten Lagerstättenrevier Freiberg und wird metallogenetisch durch Blei-Zink-Silber-Vererzungen geprägt; die großflächig vorhandene, ausgeprägte Arsen- und Cadmiumbelastung in den Böden der Region war Anlass für die Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur behördlichen Ausweisung eines § 9-Gebietes gemäß SächsABG (BEAK CONSULTANTS GMBH 2005);
  
- *Region Ehrenfriedersdorf/Geyer:* entspricht dem vereinigten Gebiet der Lagerstättenreviere Ehrenfriedersdorf inkl. der Lagerstätten Neundorf/Wiesenbad und Geyer, welche durch Vererzungen der Zinn-Wolfram-Assoziation geprägt werden; das Gebiet kennzeichnet darüber hinaus insbesondere eine Anomalie flächig stark erhöhter Arsen-Werte im Boden, was ebenfalls Anlass für die Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur behördlichen Ausweisung eines § 9-Gebietes gemäß SächsABG war (ARCADIS CONSULT GMBH 2008);
  
- *Region Annaberg:* erfasst sind damit im wesentlichen der Lagerstättenbereich Annaberg, Buchholz und Schlettau sowie lokale Vererzungsbereiche im westlich anschließenden Raum bis Elterlein; die Vererzung ordnet sich im Schwerpunkt der BiCoNiAg(U)-Formation zu, im Bereich Dörfel/Buchholz assoziiert mit Vererzungen der Sn-W-Formation;
  
- *Region Wolkenstein/Marienberg:* fasst die historisch eigenständigen Lagerstättenreviere Wolkenstein und Marienberg zusammen, welche aus metallogenetischer Sicht eine Einheit bilden; die prägenden Mineralisationen ordnen sich der BiCoNiAg(U)-Formation zu;
  
- *Region Pobershau:* umfasst die Lagerstätte Pobershau im engeren Sinne und deren nordöstlich anschließenden Teil Rittersberg; die Vererzung ordnet sich ganz überwiegend der Sn-W-Formation zu;
  
- *Zschopauaue:* das betrachtete Gebiet reicht von Schlettau, westlich Annaberg, bis zur Einmündung in die Freiburger Mulde bei Töpel, westlich Döbeln und

erfasst im engeren Sinne den Anteil der Zschopauaue, welcher durch Hochflutsedimente geprägt ist; wegen der großflächig, jedoch mit schwankender Intensität vorhandenen Bodenbelastung mit Schwermetallen und Arsen erfolgte für diesen Bereich ebenfalls die Erarbeitung der fachlichen Grundlagen für eine behördliche Ausweisung eines § 9-Gebietes gemäß SächsABG (BEAK CONSULTANTS GMBH 2007).

Im Zusammenhang mit der räumlichen Konzentration bergtechnisch interessanter Vererzungen sind in der Regel und im historischen Verlauf umfängliche berg- und hüttentechnische Betriebe mit zugehörigen Halden, Absetzanlagen, Schornsteinen etc. entstanden. Davon ausgehend finden sich heute sowohl klein- als auch großräumige Gebiete mit immissionsbedingt erhöhten Bodenbelastungen. Die prägenden Elemente widerspiegeln dabei die standorttypische Zusammensetzung der Erze bzw. deren Verarbeitungsprozess. Für die Lagerstättenreviere Freiberg/Brand-Erbisdorf sowie Ehrenfriedersdorf/Geyer wurden u. a. diese Einflussbereiche im Zuge der Erstellung der Kartenwerke zur Festlegung von Bodenplanungsgebieten nach § 9 SächsABG konkret untersucht und abgegrenzt (BEAK CONSULTANTS GMBH 2005; ARCADIS CONSULT GMBH 2008). Für die weitere Differenzierung der Datenmatrix der beiden benannten Gebiete wurden die in den beiden Kartenwerken ausgearbeiteten „Belastungszonen“ im Sinne homogener Raumeinheiten genutzt (vgl. Abbildung 2, Abbildung 3).

In BEAK CONSULTANTS GMBH (2005) wurden für die Region Freiberg dabei insgesamt vier Raumeinheiten mit spezifischer Belastungscharakteristik definiert. In ARCADIS CONSULT GMBH (2008) wurde eine vergleichbare Unterteilung für das Gebiet Ehrenfriedersdorf/Geyer angewandt. Dort wurden für die Region Freiberg der „Einflussbereich der Hütten“, das „Zentralgebiet der Lagerstätte“, ein „gering vererzungsbedingt und montan beeinflusster Bereich“ sowie „Auenbereiche“ (mit hervorgehobener Bodenbelastung) ausgehalten. In dieser Reihenfolge lauten die Einheiten für Ehrenfriedersdorf/Geyer „Zentralbereich vererzungsbedingt - montaner Einflussfaktoren“, „erweiterter Einflussbereich vererzungsbedingt - montaner Faktoren“, „gering vererzungsbedingt und/oder montan beeinflusster Bereich“ sowie „belastete Auenbereiche“.

Nach entsprechender Prüfung und Bestätigung der Zweckmäßigkeit einer Anwendung adäquater Belastungskategorien auf die übrigen Regionen wurden folgende Klassen als Ordnungskriterium der zweiten Gliederungsebene **„belastungsspezifische Differenzierung der Region“** vereinheitlichend definiert und auf die sechs vorgenannten Regionen angewandt. Die Abbildung 2 bis Abbildung 8 zeigen im Überblick die untersuchten Regionen/Gebiete einschließlich der Zschopauaue. Ersichtlich sind aus den Abbildungen weiterhin die Abgrenzungen der unterschiedenen Belastungsklassen (I) bis (IV) und zweier Sonderklassen, (V) und (VI), im Fall der Zschopauaue in ihrer spezifischen Entsprechung sowie die Verteilung der Probenahmepunkte mit vorliegenden Analysewertepaaren „Gesamtgehalt/resorptionsverfügbarer Gehalt“.

Unterschieden werden danach die Belastungsklassen

- (I) - *stark immissionsgeprägtes Gebiet (Hütteneinfluss)*: Bereiche, in denen vordergründig durch direkte Einwehung von Stäuben bzw. durch Rauchgasverbreitung Schadstoffimmissionen die Oberbodengesamtbelastung mit einem oder mehreren der untersuchten Elemente dominierend geprägt haben; diese Klasse wird nur in den Regionen Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Geyer ausgehalten, wobei sich die Gebiete hinsichtlich ihrer räumlichen Ausdehnung deutlich unterscheiden;
  
- (II) - *zentrales Lagerstättengebiet*: Hauptgebiete, in denen die Belastungsprofile der Oberböden dominierend und markant durch die Elementcharakteristik der lagerstättenspezifischen Hauptvererzungen geprägt werden; diese Klasse findet sich mit Ausnahme der „Zschopauaue“ in allen Regionen; die Abgrenzung erfolgte im Fall Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Geyer über eine spezifische Gebietsbelastungsanalyse (homogene Raumeinheit; BEAK CONSULTANTS GMBH 2005; ARCADIS CONSULT GMBH 2008); in der Region Annaberg wurde die Abgrenzung der sich durch die flächige Verschneidung der 97er-Perzentile der Gesamtgehalts-Schätzwerte von As, Cd und Pb (durch flächige Interpolation ermittelt) erzeugten Fläche genutzt (ARCADIS CONSULT GMBH 2008); der gefundene Bereich zeichnet in wesentlichen Zügen die Grenzen des zentralen Vererzungsbereiches des Lagerstättenreviers Annaberg nach; im Falle der Regionen Wolkenstein/Marienberg und Pobershau wurde für die Klassenabgrenzung die Umrandung der Lagerstätten laut Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory“ (WASTERNACK. et. al. 1995) genutzt;
  
- (III) - *Randgebiet Lagerstätte; normal belastete Gebiete/Flussauen*: Bereiche im erweiterten Saum der Lagerstätten, in denen die Vererzungsintensität stark abklingt bzw. Vererzungen nur noch kleinräumige Wirkung entfalten sowie als mineralisationsarm einzustufende und damit normal im Sinne der Hintergrundwerte belastete Gebiete; diese Bereiche konnten in allen fünf untersuchten (Lagerstätten-)Gebieten laut erster Gliederungsebene ausgehalten werden; im Bezug auf die Oberbodenbelastung der Fluss- und größerer Bachauen finden sich hier Belastungen im Niveau der angrenzenden normal belasteten Gebiete bzw. ein deutlicher Trend zu geringeren Belastungswerten im Vergleich zu „höher belasteten Auenabschnitten“ (vgl. nachfolgend erläuterte Klasse (IV)); derartige Bereiche wurden einzig im Verlauf der als mögliches Bodenplanungsgebiet durch BEAK CON-

SULTANTS GMBH (2007) untersuchten Zschopauaue ausgehalten und zur Klasse (III) zusammengefasst;

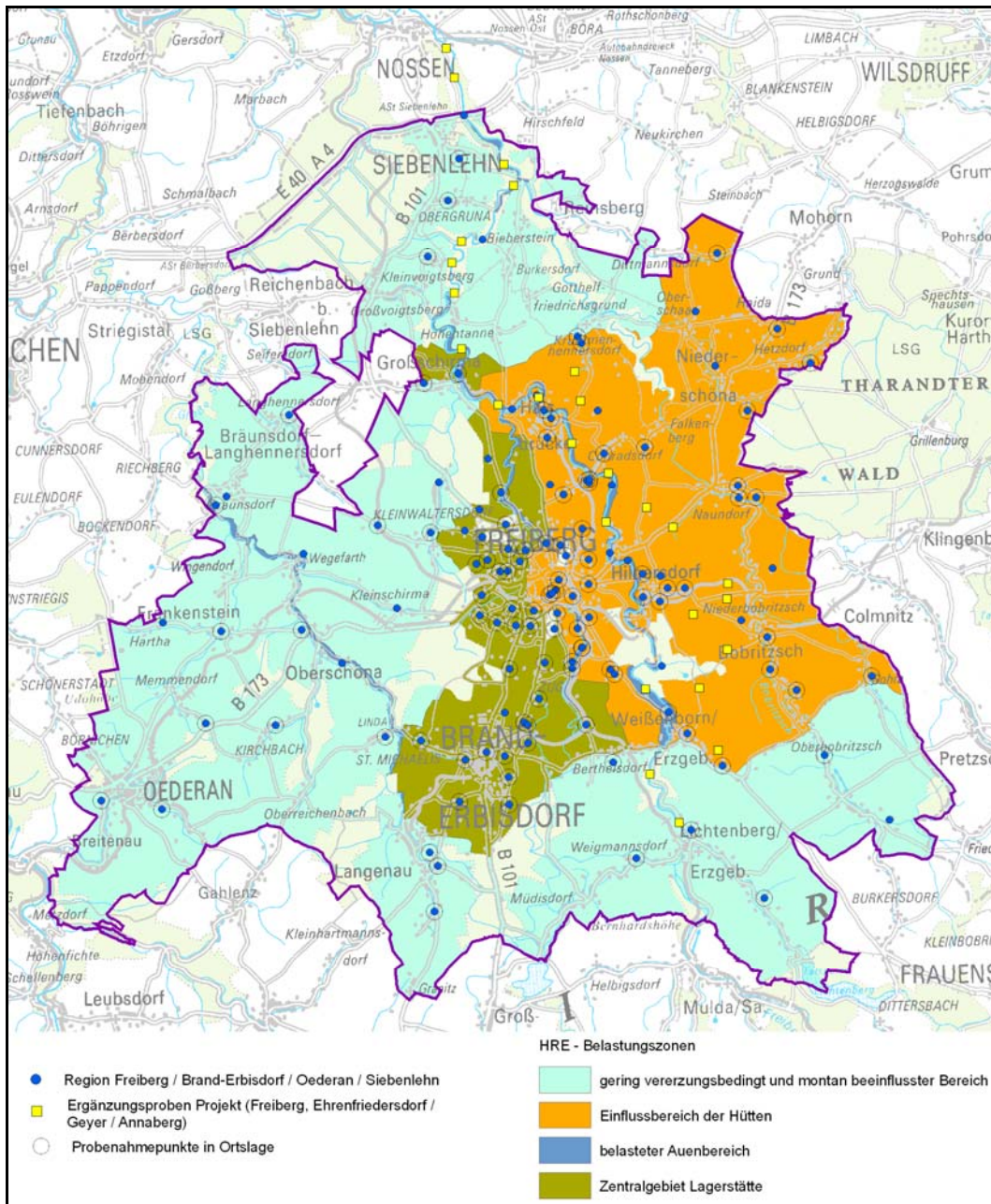
- (IV) - *höher belastete Flussauen bzw. Auenabschnitte*: Auensedimente, so auch die durch Hochflutereignisse geprägten Oberböden in unmittelbarer Nähe zu Lagerstättenzentralbereichen und von dort aus über eine mehr oder weniger lange abstromige Distanz sind in aller Regel, zwar mit schwankender Intensität, aber insgesamt durch meist hohe bis sehr hohe Elementbelastung geprägt; das jeweilige Belastungsspektrum spiegelt dabei die Elementdominanz der Lagerstätten bzw. metallogenetischen Regionen wider, welche durch die Fluss- und Bachläufe entwässert bzw. durchflossen werden; eine Reihe weiterer Prozesse beeinflusst dabei die Gesamtverteilungsmuster so, dass eine plausible Erklärung dafür sowie Abgrenzungen oft erschwert sind (vgl. KARDEL & RANK 2008; BEAK CONSULTANTS GMBH 2007);  
Bereiche der Belastungsklasse (IV) wurden im Falle der Region Freiberg sowie Ehrenfriedersdorf/Geyer aus BEAK CONSULTANTS GMBH (2005) und ARCADIS CONSULT GMBH (2007) übernommen;  
im Falle der Zschopauaue wurden die hoch/höher belasteten Auenabschnitte zu einer Klasse (IV) zusammengefasst (lagemäßiger Wechsel mit Teilabschnitten der Klasse [III]); genutzt wurden für die Teilbereichsabgrenzungen die Verschnittflächen der 97er-Perzentile der Schätzwerte der Gesamtgehalte (aus BEAK CONSULTANTS GMBH 2007; vgl. auch Erläuterung zur Klasse [II]) im Abgleich mit den Darstellungen der Lagerstättenabgrenzungen/ Gangzonen in der Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory“ (WASTERACK. et al., 1995);

Für das untersuchte Gebiet der Zschopauaue wurden alternativ zu den gebildeten und primär an der Belastungscharakteristik orientierten Klassen (III) und (IV) zusätzlich zwei regional definierte Abschnitte als Vergleichsklassen gebildet, im Sinne der durchlaufenden Nummerierung der Klassen der zweiten Gliederungsebene mit (V) und (VI) bezeichnet. Die beiden methodisch abweichend definierten Klassen (V) und (VI), Ober- bzw. Unterlauf der Zschopau erfassen dabei jeweils mehrere Teilabschnitte der Klassen (III) bzw. (IV). Die Grenze zwischen den Klassen (V) und (VI) liegt zwischen den Teilabschnitten *Scharf[enstein]-2* und *Zschopau]-1*:

- (V) - *Oberlauf der Zschopau (Schlettau - Zschopau)*: erfasst werden hier beginnend auf Höhe der Ortslage Schlettau über die Zschopau selbst, aber auch über die wichtigen Zuflüsse Geyerbach, Greifenbach, Sehma sowie Preßnitz die wichtigen Lagerstättenreviere Geyer/Greifensteingebiet, Annaberg, Wiesenbad-Neundorf und die westlichen Teile des Wolken-

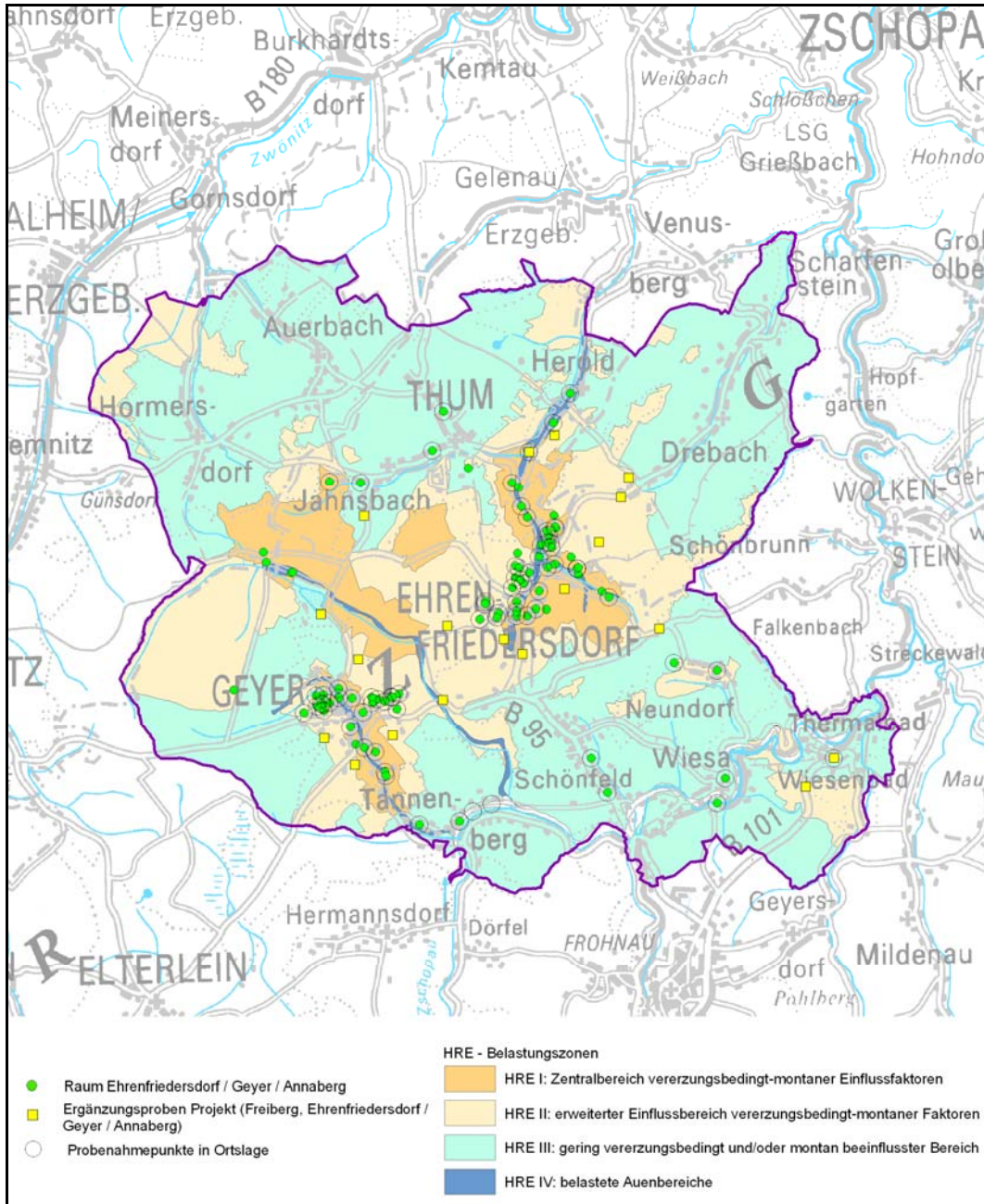
stein/Marienberger Lagerstättenreviers; hier finden sich allgemein sowohl für As, als auch Cd und Pb Belastungen im oberen Wertebereich (vgl. Tabelle 7). Bis zur abstromigen Abschnittsgrenze, Höhe Ortseingang Zschopau, werden keine weiteren bedeutenden Vererzungszonen durchflossen, die Belastungen klingen im Trend wieder ab. Ein markanter Einfluss der unmittelbar oberhalb der Ortslage Zschopau einmündenden Wilisch (entwässert den Raum Ehrenfriedersdorf/Thum/Falkenbach) lässt sich an den Analysenwerten nicht eindeutig ablesen;

- (VI) - *Unterlauf der Zschopau (Zschopau - Einmündung in Freiburger Mulde)*: ab der Ortslage Zschopau bis zur Einmündung der Zschopau in die Freiburger Mulde werden keine bedeutenden Vererzungsstrukturen mehr durchflossen bzw. über Vorfluter erfasst; während Cd und Pb im allgemeinen das Belastungsniveau des Oberlaufes nicht mehr erreichen, finden sich für As erneut Abschnitte mit hoher Belastung; in KARDEL & RANK (2008) wird ein wahrscheinlicher Zusammenhang zwischen breiten Auen und hohen Belastungswerten hergestellt; ein insofern problematischer Fakt, da in den breiteren Auen des Unterlaufes eine intensive landwirtschaftliche Nutzung erfolgt;

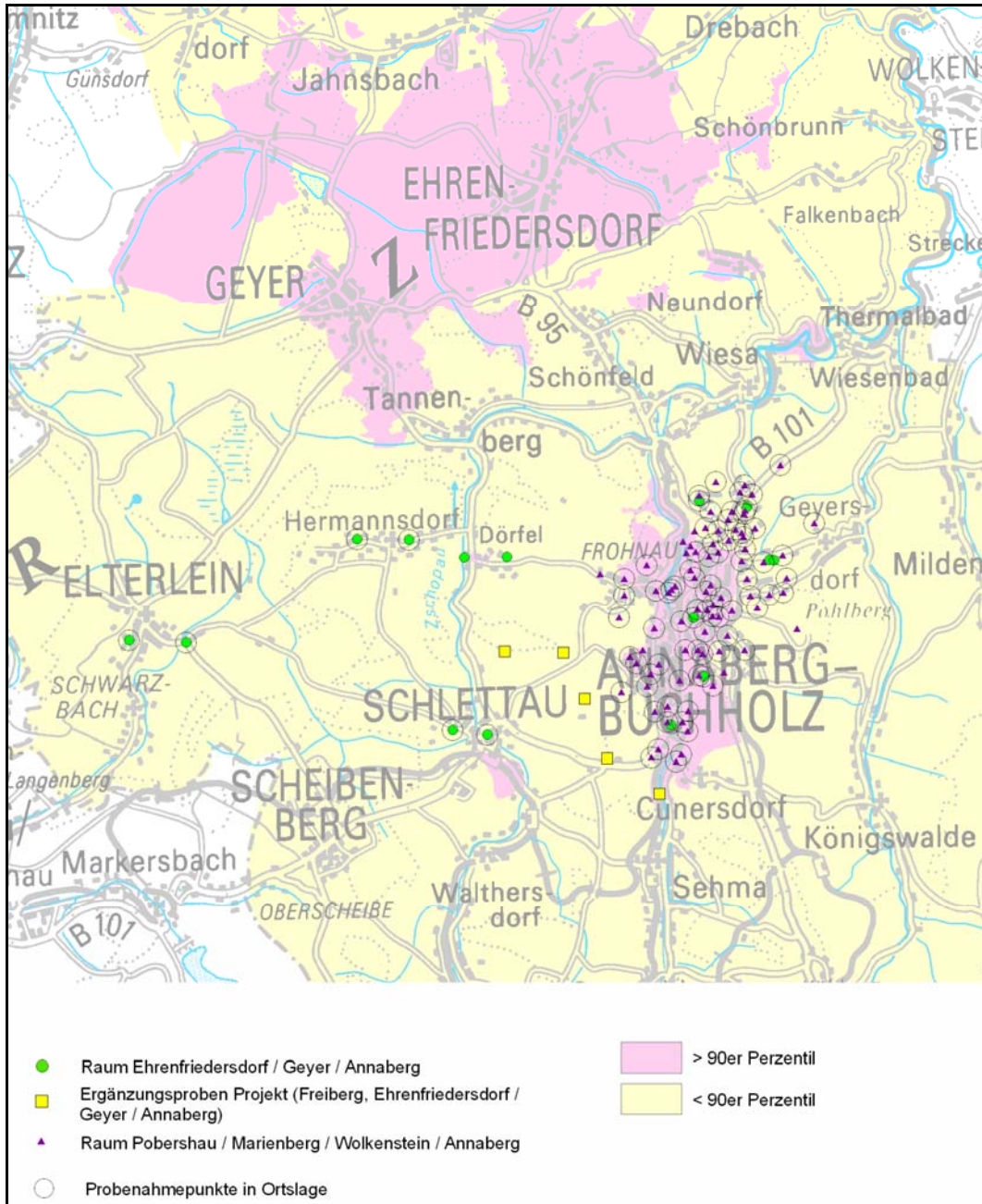


**Abbildung 2: Probenahmepunkte Region Freiberg mit Abgrenzung BPG nach § 9 SächsABG und Zonen spezifischer Schadstoffbelastung (aus BEAK 2005)**

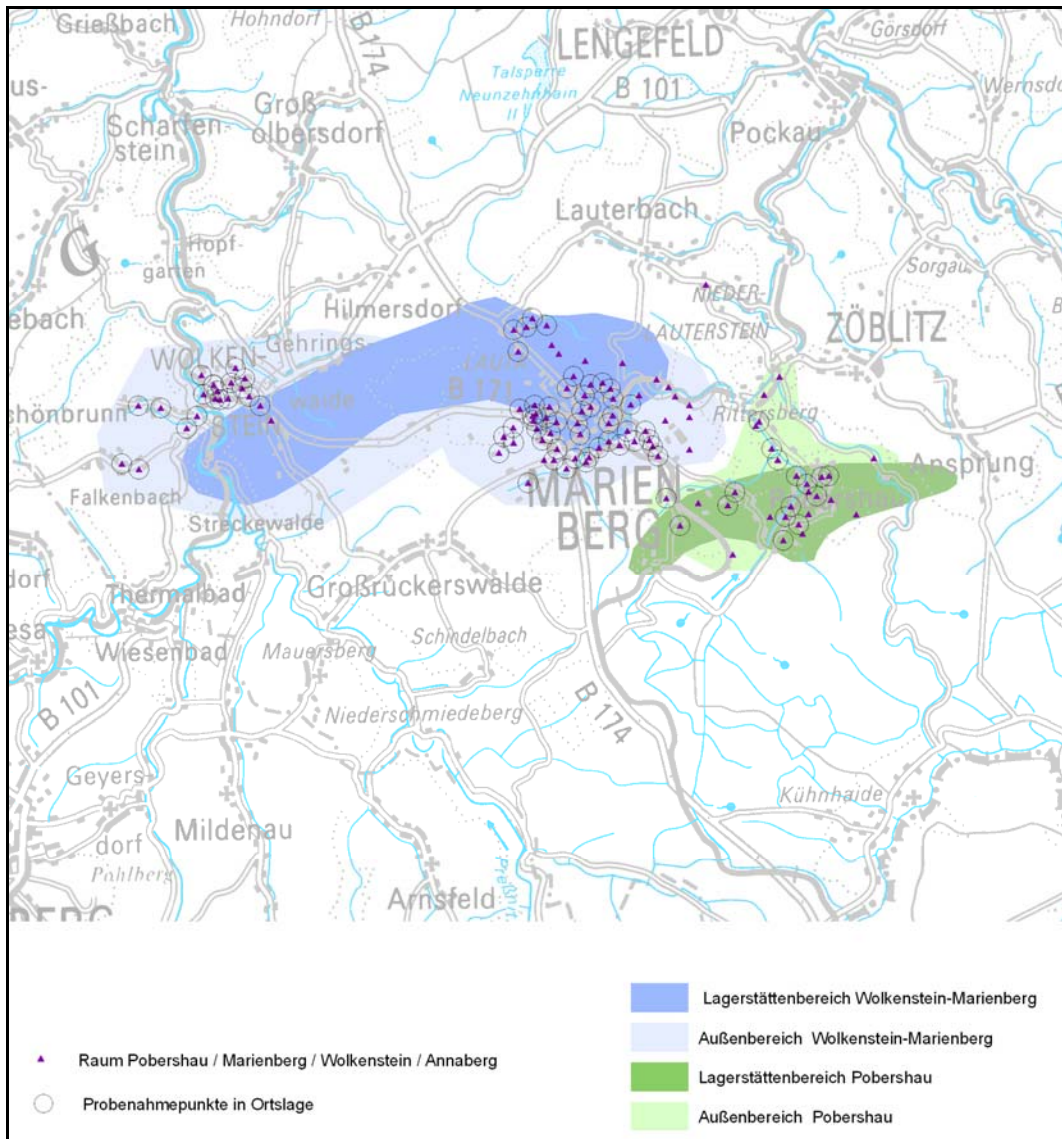




**Abbildung 3: Probenahmepunkte Region Ehrenfriedersdorf/Geyer mit Abgrenzung BPG nach § 9 SächsABG und Zonen spezifischer Schadstoffbelastung (aus ARCADIS 2008)**



**Abbildung 4: Probenahmepunkte Region Annaberg mit Abgrenzung gemäß Belastungsperzentil (aus ARCADIS 2008)**



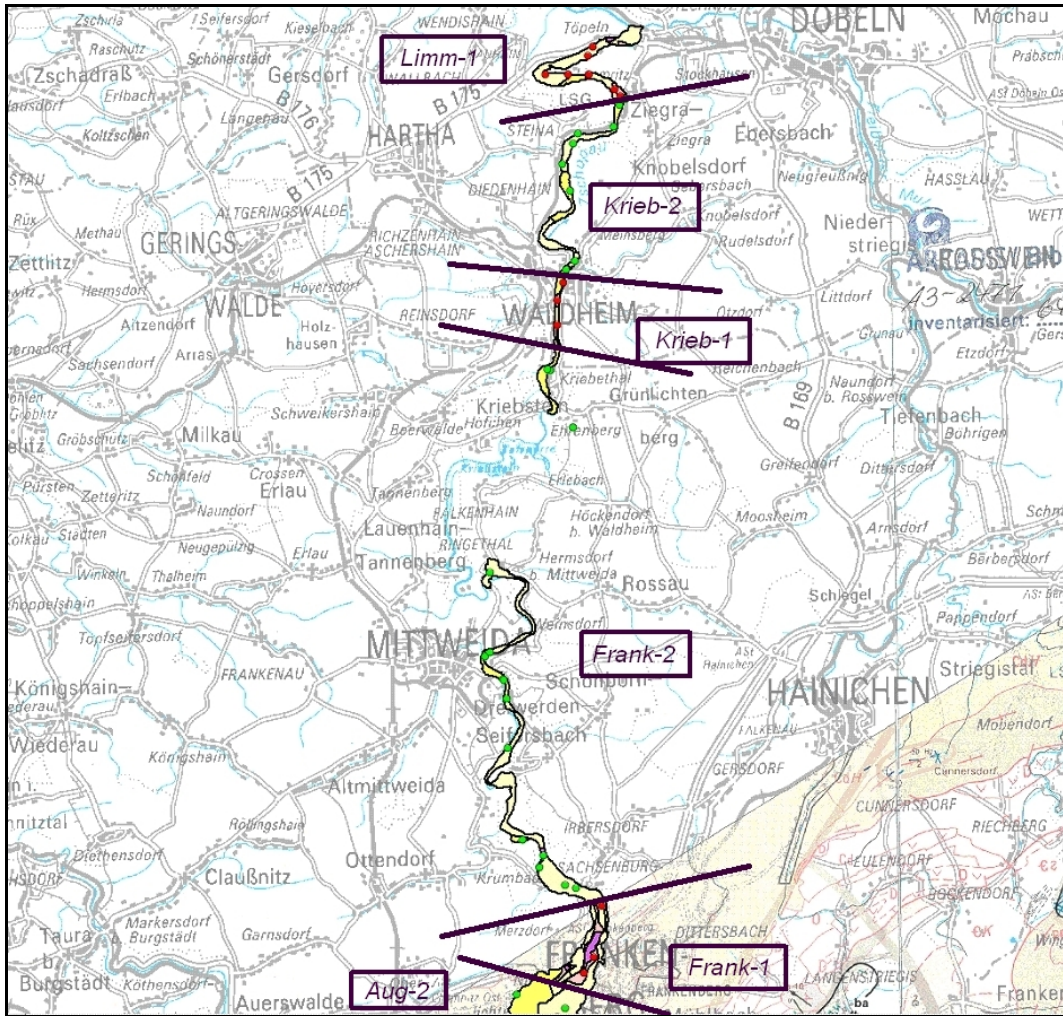
**Abbildung 5: Probenahmepunkte Regionen Wolkenstein/Marienberg/Pobershau mit Abgrenzung zentraler und äußerer Lagerstättenbereich Wolkenstein/Marienberg bzw. Pobershau**

In den Abbildung 6 bis 8 sind die Gliederungsgrundlagen für den untersuchten Bereich der Zschopauaue (Abgrenzung gemäß BEAK CONSULTANTS GMBH 2007) dargestellt. Dabei bedeuten im Einzelnen:

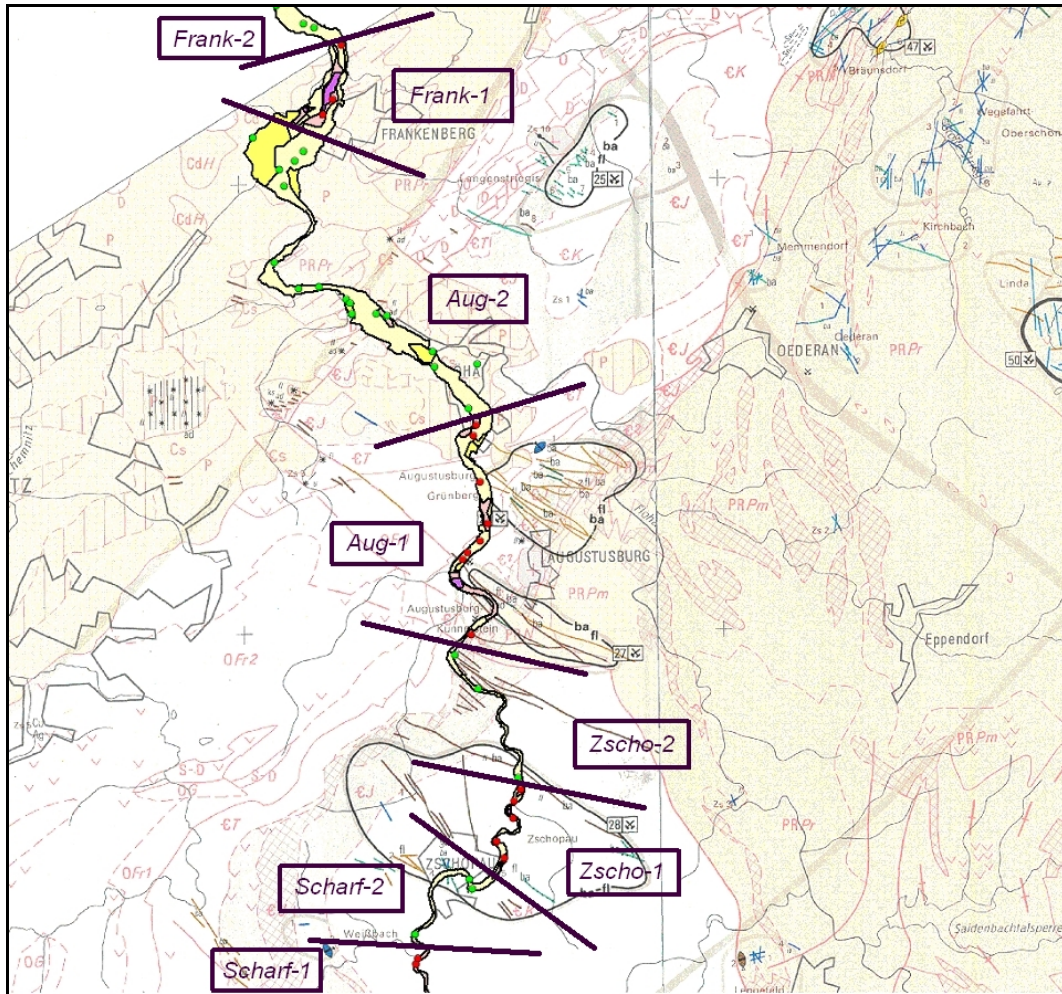
- schwarzer Querstrich: Grenze von Teilabschnitten
- Namenskürzel (z.B. Anna): Kurzbezeichnung für Teilabschnitt
- Ziffer 1 hinter Namenskürzel: Teilabschnitt mit allgemein hoher Belastungsintensität entsprechend der Belastungsklasse (IV); es dominieren die Verschneidungsflächen der Überschreitungsniveaus des 90er- (rot) und

- 97er-(magenta) Perzentils der Gesamtgehalts-Schätzwerte von As, Cd und Pb (BEAK 2007)
- rote Punkte: Probenahmepunkte analysierter Oberbodenproben in Teilabschnitten 1 (Belastungsklasse [IV])
  - Ziffer 2 hinter Namenskürzel: Teilabschnitt mit allgemein geringer - normaler Belastung durch As, Cd, Pb gemäß Belastungsklasse (III) bzw. abklingender Belastungsintensität unterstromig von Ziffer-1-Bereichen; es dominieren die Verschneidungsflächen der Überschreitungsniveaus < 50er- (gelb) und 50er- bis < 90er-(rosé) Perzentile der Gesamtgehalts-Schätzwerte von As, Cd und Pb (BEAK 2007)
  - grüne Punkte: Probenahmepunkte analysierter Oberbodenproben in Teilabschnitten 2 (Belastungsklasse [III])

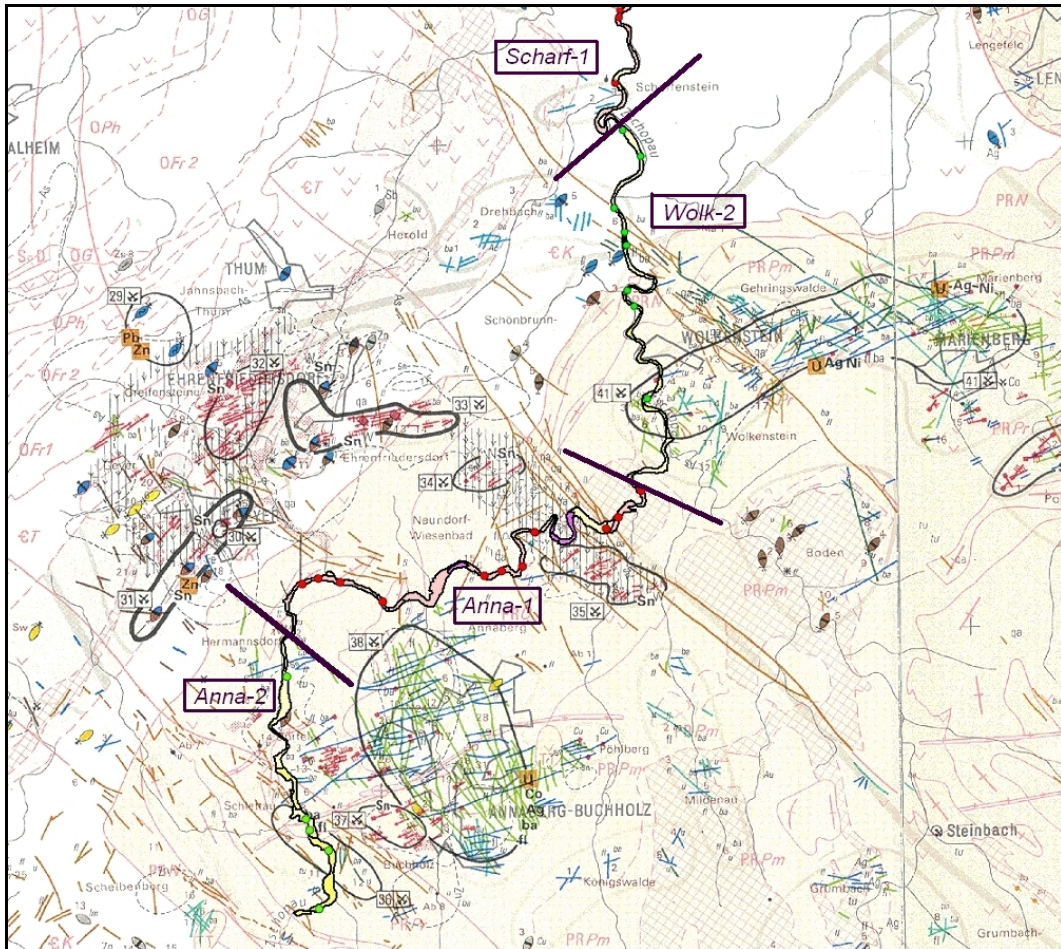
In der Abbildung 7 (Mittellauf der Zschopau) und der Abbildung 8 (Oberlauf der Zschopau) wurde darüber hinaus ein kartografischer Verschnitt mit der metallogenetischen Übersichtskarte Erzgebirge – Vogtland (WASTERNACK et. al. 1995) vorgenommen.



**Abbildung 6: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Unterlauf)**



**Abbildung 7: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Mittellauf)**



**Abbildung 8: Probenahmepunkte und räumliche Untergliederung der Zschopauaue (Oberlauf)**

Als *dritte Gliederungsebene* zur Differenzierung der zu untersuchenden Wertepaar-Kollektive wurde die Unterscheidung anhand des Lagekriteriums „in Ortslage“ einerseits und „außerhalb geschlossener Ortslagen“ andererseits genutzt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war die Überlegung, dass sich die Belastungssituation im Hinblick auf Herkunft und Stoffverteilung, aber auch durch nutzungsbedingte Schadstoffumverteilung (z.B. Verlagerung von Bodenmaterial) signifikant unterscheidet. In Abbildung 2 bis 5 wurde diese Zuordnung neben der Verteilung der Probenahmepunkte im Bezugsgebiet dargestellt. Aus maßstäblichen Gründen war diese Kennzeichnung in den Abbildung 6 bis 8 (Zschopauaue) nicht möglich. Bei der jeweiligen Auswahl der Probenahmepunkte/Bodenproben für eine Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit erfolgte seitens der zuständigen Fachbehörden eine Schwerpunktsetzung auf innerörtliche Flächen. Im außerörtlichen Bereich wurde darauf geachtet, dass die Probenahme/Analytik annähernd die Anteile der Grünland- und Ackerflächen widerspiegelt.

Eine weitergehende Flächendifferenzierung lässt sich hinsichtlich der deutlich verschiedenen Flächennutzungen vornehmen. So finden sich innerorts die Nutzungskategorien Kinderspielflächen, Wohngebiet, Park/Freizeit und Industrie/Gewerbe gemäß BbodSchV, Pfad Boden - Mensch, während sich in aller Regel außerorts die landwirtschaftlichen Nutzungen Acker und Grünland von Interesse sind. An Proben von Waldflächen ist nur ausnahmsweise eine Analytik der resorptionsverfügbaren Anteile erfolgt. In keinem Fall konnten hier Regressionsuntersuchungen erfolgen. Für die Trennung Ortslage von außerörtlichen Flächen und die weitergehende Flächen- bzw. Nutzungsdifferenzierung werden die Flächennutzungsklassen des ATKIS-DLM25 genutzt.

Vor dem Hintergrund der Hypothese, dass sich vergleichbar der Verfügbarkeit der Schadstoffe für Pflanzen (mobilisierbarer Gehalt; bestimmt über den Ammoniumnitratgehalt), zwischen Grünland und Acker signifikante Unterschiede auch hinsichtlich der jeweiligen resorptionsverfügbaren Gehalte bestehen, wird in der *vierten Gliederungsebene* diese Wertepaar-Kollektiv-Zuordnung untersucht. Für die entsprechende Zuordnung der einzelnen Probenahmepunkte gilt die Ansprache durch den Bodenprobenehmer im Abgleich mit den Nutzungsklassen des ATKIS-DLM25 als verbindlich. Den Nutzungen Acker (A) und Grünland (GL) im außerörtlichen Bereich (AL) wurden entsprechende Äquivalente in den Ortslagen (OL) entgegengestellt. Das sind zum einen Nutzgärten (NG; im Sinne gärtnerischen Lebens- und Futtermittelanbaus), zum anderen Grünland/Grünflächen (GL) im weitesten raumplanerischen Sinne. Letzterer Klasse wurden, soweit eindeutig durch den Probenehmer angesprochen bzw. im Luftbild identifizierbar, auch Proben von Park- und Freizeitflächen mit geschlossenem Grünlandaufwuchs und Ödlandflächen mit Grasnarbe zugeordnet.

#### **4 Analyse der Korrelationsbeziehung zwischen Gesamtgehalt und resorptionsverfügbarem Gehalt**

##### **4.1 Wertepaar-Gruppierung und Signifikanzprüfung**

Entsprechend der unter Punkt 3.2 erläuterten flächenbezogenen Zuordnungskriterien bzw. -klassen erfolgte die Wertepaar-Gruppierung für die anschließende Regressionsanalyse zur Bestimmung und vergleichenden Betrachtung der Korrelationsbeziehungen zwischen einzelelementspezifischen Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Gehalten. Allerdings ermöglichte die Anzahl verfügbarer Analysendaten in keiner der betrachteten Regionen die Bildung sämtlicher möglichen Untersuchungsklassen.

Die verfügbaren Wertepaarumfänge (KW-Gehalt und RV-Gehalt) reduzierten sich weiter, da analytisch ermittelte Resorptionsverfügbarkeiten  $< BG$  (spezifische, vom Analysenverfahren abhängige Bestimmungsgrenze) gemäß Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht für die Regressionsuntersuchung genutzt wurden (im Unterschied zum Verfahren der statistischen Prüfung der Primärdaten; vgl. 3.1). In aller Regel wird in der Vollzugspraxis eine Anwendung von Regressionsbeziehungen zur Ableitung von RV-Gehalten aus vorliegenden KW-Untersuchungen nur dann erfolgen, wenn die KW-Gehalte die Prüfwerte für Kinderspielflächen, wenigstens aber die Vorsorgewerte überschreiten. Auch in diesem unteren Wertebereich konnten wegen der niedrigen verfahrensspezifischen



Bestimmungsgrenzen der Labore noch eine Anzahl an Wertepaaren dargestellt und für die Regressionsanalyse genutzt werden.

In vielen untersuchten Wertepaar-Gruppierungen liegen trotzdem bereits ab der dritten Gliederungsebene (Probenahme innerorts oder außerhalb Ortslagen) keine ausreichenden Stichprobenumfänge mehr vor. An den Wertekollektiven wurden deshalb parallel zur Aufstellung der Regressionsbeziehung Signifikanztests (p-, t- und vereinzelt auch F-Test) durchgeführt. Dabei ergaben sich im Einzelfall bereits ab drei Wertepaaren aufwärts statistisch signifikante Korrelationsbeziehungen. In der praktischen Bewertung muss jedoch davon ausgegangen werden, dass Stichprobenumfänge, insbesondere auch von Umweltdaten, erst ab ca. 10 Wertepaaren statistisch hinreichend stabile Korrelationsbeziehungen abbilden. Oft liegt diese Grenze noch höher, da Verteilungseffekte wie z.B. die Wertestreuung und Bandbreite der Werteniveaus, starken Einfluss auf das jeweilige Ergebnis haben. Für die vergleichende Bewertung im Rahmen dieses Projektes (Punkt 4.3) sowie bei den Empfehlungen zur Ergebnisnutzung in der Praxis (Punkt 5) werden deshalb nur Regressionsbeziehungen auf Basis von Wertepaar-Umfängen  $n \geq 10$  genutzt. Bei kleinerem Stichprobenumfang, jedoch nachgewiesener Signifikanz der Beziehungen erfolgte im Einzelfall eine orientierende Berücksichtigung der Regressionsbeziehung im Rahmen der regionsbezogenen Ergebniserörterung (vgl. Pkt. 4.2).

Den Überblick über die untersuchten Wertepaar-Gruppen aller Regionen und Klassenkombinationen zeigt die Tabelle 9. Die Details zu allen untersuchten Regressionsbeziehungen sind unter Punkt 4.2 dargestellt. Dort finden sich in Tabelle 10 bis Tabelle 27 auch die Angaben zu der jeweiligen einzelfallbezogenen, verfügbaren Wertepaar-Anzahl für die Erzeugung der Regressionsbeziehungen sowie deren statistische Kenngrößen.

**Tabelle 9: Überblick der untersuchten Wertepaar-Gruppen**

Element	belastungsspezifische Differenzierung der Region	Ortslage (OL) / Außenlage (AL)	Flächennutzungscharakter - Nutzgarten/Acker (NG/A), Grünland (GL)	Freiberg			Ehrenfriedersdorf - Geyer			Annaberg			Wolkenstein - Marienberg			Pobershau			Zschopauaue		
				As	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	Pb
Gesamtgebiet (undifferenziert)																					
stark immissionsgeprägtes Gebiet (Hütteneinfluss)	I																				
	I	OL																			
	I	OL	NG																		
	I	OL	GL																		
	I	AL																			
	I	AL	A																		
zentrales Lagerstättengebiet	I	AL	GL																		
	II																				
	II	OL																			
	II	OL	NG																		
	II	OL	GL																		
	II	AL																			
Randgebiet Lagerstätte; normal belastete Gebiete / Flussauen	II	AL	A																		
	II	AL	GL																		
	III																				
	III	OL																			
	III	OL	NG																		
	III	OL	GL																		
höher belastete Flussauen bzw. Auenabschnitte	III	AL																			
	III	AL	A																		
	III	AL	GL																		
	IV																				
	IV	OL																			
	IV	OL	NG																		
Oberlauf der Zschopau (Schlettau - Zschopau)	IV	OL	GL																		
	IV	AL																			
	IV	AL	A																		
	IV	AL	GL																		
	O																				
	O	OL																			
Unterlauf der Zschopau (Zschopau - Einmündung in Freiburger Mulde)	O	OL	NG																		
	O	OL	GL																		
	O	AL																			
	O	AL	A																		
	O	AL	GL																		
	U																				
Unterlauf der Zschopau (Zschopau - Einmündung in Freiburger Mulde)	U	OL																			
	U	OL	NG																		
	U	OL	GL																		
	U	AL																			
	U	AL	A																		
	U	AL	GL																		

- statistisch signifikante Regressionsbeziehung; uneingeschränkt genutzt ( $\geq 10$  Wertepaare KW/RV)
- statistisch signifikante Regressionsbeziehung; nur orientierend genutzt ( $n < 10$  Wertepaare KW/RV)
- keine statistisch signifikante Regressionsbeziehung ermittelbar

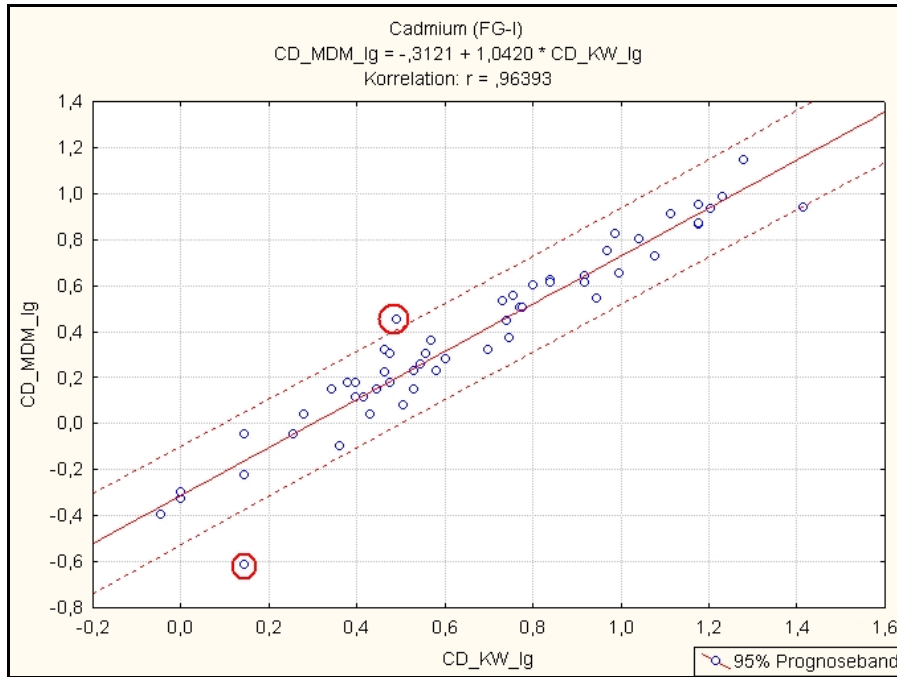
## 4.2 Durchführung der Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse an den verschiedenen Wertepaargruppen bildet im Gesamtvorhaben den methodischen Hauptschritt. Anhand der detaillierten Ergebnisse soll eine Beurteilung ermöglicht werden, ob und für welche Wertepaargruppen innerhalb einer definierten Region bzw. zwischen den untersuchten Regionen des Erzgebirges eine Differenzierung hinsichtlich der Resorptionsverfügbarkeit im Verhältnis zu den jeweiligen Elementgesamtgehalten im Oberboden in der bodenschutzfachlichen sowie -rechtlichen Praxis sinnvoll ist oder nicht. Auf eine Untersuchung von Regressionsbeziehungen für Uran wurde auf Grund der noch sehr wenigen Analysedatensätze im Sinne der oben beschrieben zugrunde gelegten Regeln verzichtet (vgl. dazu auch Punkt 3.1).

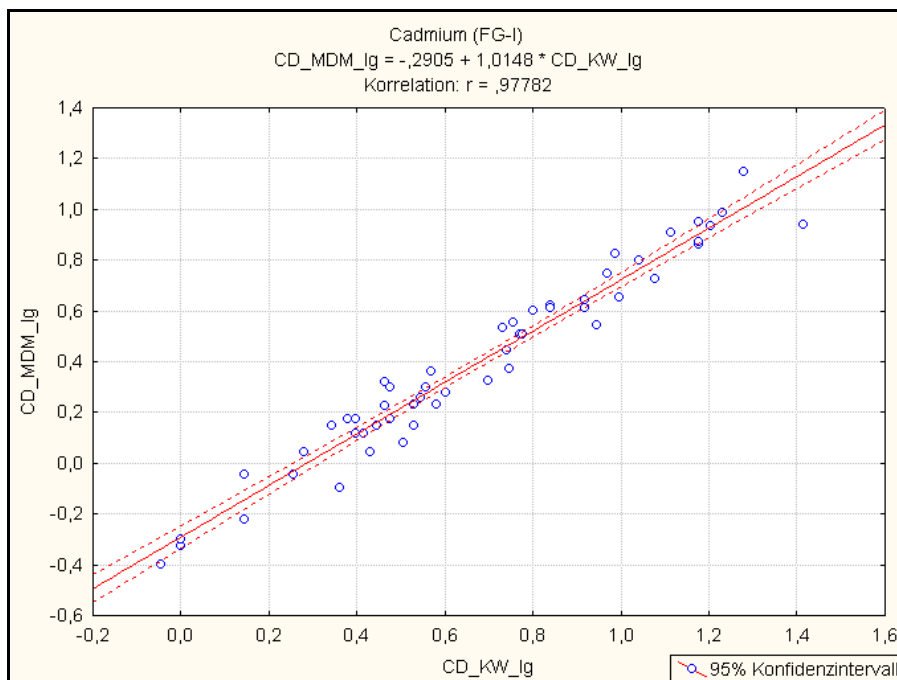
Wie im Falle der statistischen Prüfung der Analysendaten (vgl. Punkt 3.1) erfolgte die Durchführung der einzelnen Operationen der Regressionsanalyse mit Hilfe der Software STATISTICA<sup>®</sup> 6.1 (Copyright ©, StatSoft Inc., 1984-2004) in Verbindung mit MS-Excel<sup>®</sup> (Copyright ©, Microsoft Corp., 1985 - 2001). Für die Durchführung der Berechnungsoperationen wurden zunächst sämtliche Einzelwerte der Gesamtgehalte und resorptionsverfügbaren Anteile dekadisch logarithmiert. Dies erfolgte zum einen, um den Anforderungen an die Normalverteilung der Werte zu genügen. Zum anderen ergeben sich durch die Anwendung logarithmierter Werte bei der Regressionsanalyse lineare Funktionen. Anhand linearer Funktionen ist insbesondere ein Vergleich der Ergebnisse im Unterschied zu Potenzfunktionen (ergeben sich aus nicht logarithmierten Werten) einfacher handhabbar.

Im Detail wurde für die Regressionsanalyse folgendes Verfahren gewählt, wobei zur Verdeutlichung des Verfahrens die Diagramme in der Abbildung 9 und Abbildung 10 dienen:

- Erzeugung eines Scatterplots mit der Wertepaar-Wolke der spezifischen Klassenkombination
- Ermittlung der zugehörigen linearen Regressionsfunktion und Darstellung des Prognosebandes für diese Beziehung im Diagramm
- Mit Hilfe des Prognosebandes erfolgt eine Ausgrenzung von Wertepaaren im Sinne von Ausreißern (in Abbildung 9 mit rotem Umring gekennzeichnet).
- Liegen Wertpaare außerhalb des im Regelfall gewählten 95 %-Prognosebandes, dann wurde die Regressionsfunktion unter Ausschluss dieser Wertepaare wiederholt berechnet und mit deren 95 %-Konfidenzintervall im Scatterplot dargestellt. Diese ausreißerbereinigte Regressionsfunktion wurde für die auswertenden Betrachtungen herangezogen.



**Abbildung 9: Beispiel-Scatterplot der Ausgangsregressionsbeziehung mit Prognoseband und markierten „Ausreißer“-Wertepaaren**



**Abbildung 10: Beispiel-Scatterplot der abschließend gefundenen Regressionsbeziehung mit Konfidenzintervall**

In den nachfolgenden Unterpunkten sind für sämtliche untersuchten Wertepaarklassen/-klassenkombinationen die ermittelten Regressionsbeziehungen dargestellt, für welche die statisti-

schen Tests eine Signifikanz der Korrelation bestätigt haben. In den jeweiligen Tabellen sind darüber hinaus diejenigen Fälle „gelb“ hinterlegt, in denen weniger als 10 Wertepaare für die Untersuchung zur Verfügung standen. Diese Beziehungen wurden in den Übersichtsdarstellungen zur jeweiligen Region (Anlagen 2 – 7) bzw. Regionen übergreifend (Anlagen 9 – 11) orientierend mitgeführt. Im Rahmen der Ergebnisdiskussion erfolgte jedoch nur noch im Ausnahmefall für einen Vergleich der verschiedenen Belastungsbereiche (entspricht der zweiten Klassengliederungsebene; vgl. Tabelle 9) innerhalb bzw. zwischen den Regionen eine Berücksichtigung.

Wie oben bereits erläutert, wurden die Berechnungen zur Regressionsanalyse mit Hilfe logarithmierter Ausgangswerte durchgeführt. Bei den ermittelten Regressionsbeziehungen handelt es sich um lineare Funktionen, welche durch die Parameter Anstieg und Abschnitt charakterisiert sind. Für die Ergebnisbewertung bzw. den Vergleich der gefundenen Regressionsbeziehungen ist deshalb ein entsprechender Realwertebezug (Gesamtelementgehalt, KW-Auszug bzw. resorptionsverfügbarer Gehalt, MDM-Methode) wieder herzustellen bzw. zu ermöglichen. Dabei lautet die lineare Ausgangsfunktion wie folgt:

$$f(x_{lg}) = y_{lg} = a \cdot x_{lg} + b \quad (1)$$

Die Funktionen der gefundenen Regressionsgeraden werden für die Ermittlung der Realwerte umgestellt. Das Ergebnis der Umstellung ist eine Potenzfunktion:

$$f(x) = y = 10^b \cdot x^a \quad (2)$$

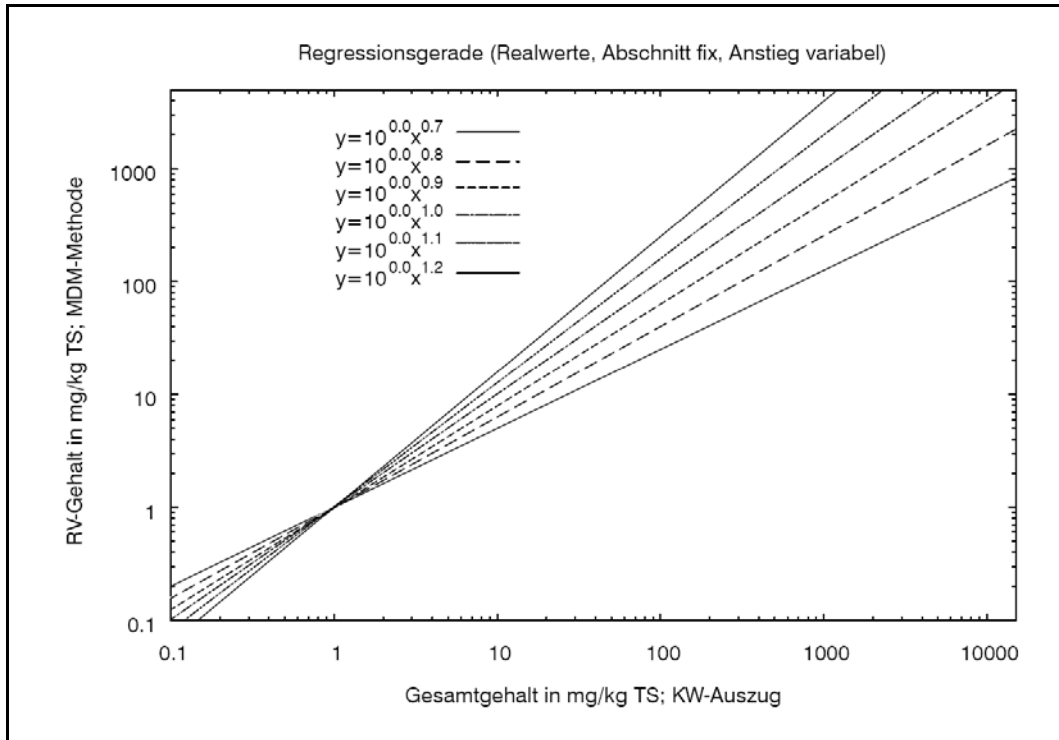
wobei gilt:	$f(x_{lg}) = y_{lg}$	dekadischer Logarithmus des resorptionsverfügbaren Gehaltes
	$f(x) = y$	resorptionsverfügbarer Gehalt in mg/kg
	$x_{lg}$	dekadischer Logarithmus des Gesamtgehaltes (KW-Auszug)
	$x$	Gesamtgehalt (KW-Auszug) in mg/kg
	$a$	Anstieg der Regressionsfunktion nach Formel (1)
	$b$	Abschnitt der Regressionsfunktion nach Formel (1)

Zur Verdeutlichung der Auswirkung der Variabilität von Abschnitt und Anstieg in der Realwertfunktion der Regressionsbeziehungen sollen die beiden mit Hilfe der Software GNUPLOT<sup>®</sup> Vers.4.2 erstellten Diagramme (Abbildung 11 und Abbildung 12) dienen.

Für die in der Abbildung 11 dargestellten Regressionsgeraden für die Realwert-Beziehung Gesamtgehalt zu resorptionsverfügbarem Anteil gilt dabei allgemein:

Ist der Wert für den Abschnitt „b“ konstant (im Beispiel „0,0“; entspricht dem oberen Bereich der ermittelten Abschnittswerte), dann steigt für einen gleich bleibenden Wert des Gesamtgehaltes eines Elements (KW-Auszug) > 1 mg/kg TS und zunehmenden Wert für den Anstieg „a“ (im Beispiel entspricht dieser etwa dem ermittelten Wertespektrum) auch der entsprechende Anteil des

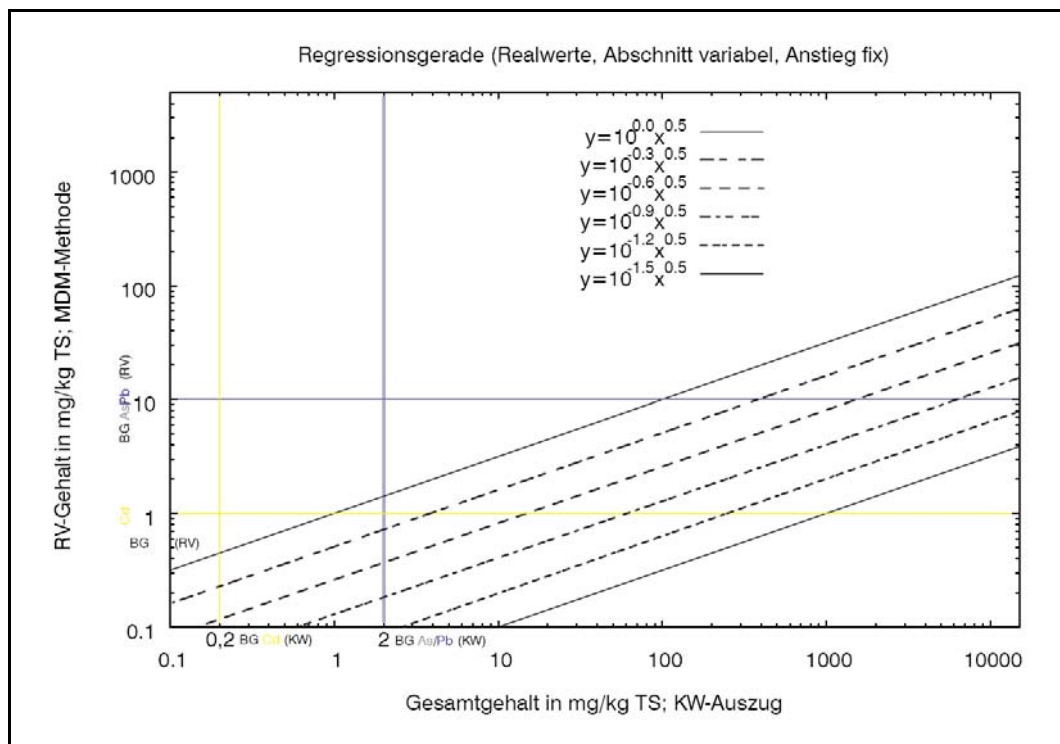
resorptionsverfügbaren Gehaltswertes (nach MDM-Methode; in mg/kg TS) an. Für steigende Gesamtgehalte unterhalb der Werteschwelle 1 mg/kg TS steigt der relative Anteil für die RV-Werte zwar ebenso, nun allerdings mit abnehmendem Wert für den Anstieg „a“. Die Ursache für diese „Trendumkehr“ liegt in der Charakteristik der Potenzfunktion begründet.



**Abbildung 11: Schematische Darstellung von Regressionsgeraden mit unterschiedlichen Steigungsmaßen**

Für die Entwicklung des realen Verhältnisses von Gesamtgehalt zu resorptionsverfügbaren Gehalt erscheint es jedoch nicht logisch, warum sich bei Gesamtgehalten von 1 mg/kg TS das Trendverhalten umkehren soll. Tatsächlich ist dieser Aspekt für die hier angestellten Betrachtungen auch nicht von entscheidender Bedeutung. Bezogen auf die ermittelten einzelementspezifischen Regressionsbeziehungen liegen für Gesamtgehalten im Bereich der analytischen unteren Bestimmungsgrenzen die berechneten RV-Gehalte grundsätzlich noch erheblich unterhalb deren analytischer unterer Bestimmungsgrenze. Dieser Zusammenhang ist in der Abbildung 12 noch deutlicher erkennbar. Darüber hinaus wird aus der Abbildung 12 gut ersichtlich, dass bezogen auf einen konstanten Anstieg „a“ und bei kleiner werdendem Abschnitt „b“ die Resorptionsverfügbarkeit erst bei immer höheren Gesamtgehalten im jeweils analytisch sicher quantifizierbaren Gehaltsniveau (BG RV) liegt. Auf eine Anwendung der ermittelten Regressionsbeziehungen bei Gesamtgehaltswerten kleiner den einzelementspezifischen analytischen Bestimmungsgrenzen ist damit generell zu verzichten. Die untere Grenze für den Gesamtgehalt (KW), bei der die Bestimmungsgrenze RV für das jeweilige Element überschritten wird, lässt sich für die jeweilige orts- und elementspezifische

Regression leicht aus dem Diagramm ablesen oder durch Einsetzen in die Funktionsgleichung ermitteln.



**Abbildung 12: Schematische Darstellung von Regressionsgeraden mit unterschiedlichen Achsenabschnitten**

Resümierend bestätigt sich damit die eingangs zum Punkt 4.1 erläuterte Verfahrensweise, Wertepaare mit  $RV < BG$  nicht zur Herleitung der Regressionsbeziehungen zu nutzen, als richtig. Die Ableitung einer Regression von Wertepaaren mit unsicherem Werteanteil, welche als sicher gelten soll, widerspräche dem Ziel dieser Arbeit.

Um dem Leser die Herleitung der Realwertebeziehung in Abhängigkeit von den jeweilig ermittelten Regressionsbeziehungen näherungsweise zu ermöglichen, finden sich in der Anlage 12 entsprechende Hilfsdiagramme.

#### 4.2.1 Region Freiberg

In Tabelle 10 bis Tabelle 12 sind die Kennwerte der für die Region Freiberg ermittelten Regressionsbeziehungen aufgelistet. In der Anlage 2 findet sich eine zugehörige Zusammenstellung von Punkt-Diagrammen, welche die Wertepaarbeziehungen „Abschnitt – Anstieg“ visualisieren. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabellen 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen.

**Tabelle 10: Regressionsergebnisse Region Freiberg (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	<b>Gesamtgebiet</b>	158	157	0,9399	0,8835	-0,2628	0,8578
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	62	60	0,9310	0,8667	-0,2361	0,8680
	I-OL	45	43	0,9297	0,8643	-0,2930	0,8887
	I-OL-NG	37	36	0,9089	0,8260	-0,3037	0,8860
	I-OL-GL	8	8	0,9806	0,9616	-0,2693	0,8915
	I-AL	17	16	0,9515	0,9053	-0,2619	0,9021
	I-AL-A	10	10	0,9125	0,8326	-0,1857	0,8314
	I-AL-GL	7	7	0,9847	0,9697	0,0010	0,8024
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	37	35	0,9499	0,9023	-0,3394	0,8843
	II-OL	33	32	0,9472	0,8973	-0,4301	0,9223
	II-OL-NG	28	27	0,9509	0,9043	-0,5098	0,9516
	II-OL-GL	5	5	0,9494	0,9014	-0,0372	0,7644
	II-AL	4					
	II-AL-A	0					
	II-AL-GL	4					
	<b>III-gering belastet</b>	31	29	0,8415	0,7082	-0,2609	0,8504
	III-OL	23	22	0,7653	0,5858	-0,2038	0,8060
	III-OL-NG	20	19	0,7706	0,5938	-0,2345	0,8206
	III-OL-GL	3					
	III-AL	8	8	0,8748	0,7652	-0,4846	0,9834
	III-AL-A	4					
	III-AL-GL	4					
	<b>IV-belastete Aue</b>	28	28	0,8985	0,8073	-0,1917	0,8223
	IV-OL	6	6	0,9026	0,8147	0,3319	0,6210
	IV-OL-NG	6	6	0,9026	0,8147	0,3319	0,6210
	IV-OL-GL	0					
	IV-AL	22	22	0,9008	0,8115	-0,3155	0,8669
	IV-AL-A	8	8	0,9610	0,9235	-0,0169	0,7818
	IV-AL-GL	13	13	0,9189	0,8444	-0,7602	1,0018

Beim Arsen ähneln sich die Regressionsparameter der sicheren Beziehungen sowohl innerhalb der Belastungsklassen (I) – (III) als auch zwischen ihnen sehr stark (Abschnitt ca. -0,2 bis -0,5; Anstieg ca. 0,80 bis 0,95). Bezogen auf einen angenommenen As-Gesamtgehalt von 25 mg/kg (= PWK) schwanken dabei die resorptionsverfügbaren Gehaltsanteile gerade einmal um ca. 3 mg (von ca. 7 bis 10 mg/kg) im Bereich der verfahrensbedingten analytischen Bestimmungsgrenze. Bezogen auf den vergleichsweise hohen Gesamtgehaltsmedian der Region Freiberg von 140 mg/kg schwanken die RV-Anteile zwischen ca. 33 und 47 mg/kg. Damit beträgt die RV-Gehaltsanteilsabweichung zwischen den untersuchten Klassen jeweils um ca. 10 % des Bezugsgehaltes. Die absoluten RV-Gehaltsanteile nehmen im Trend von Werten um 35 – 40 % bezogen auf As-Gesamtgehalt von 25 mg/kg auf Anteile um 25 – 30 % beim As-Gesamtgehalt von 140 mg/kg (Median Region Freiberg = Prüfwert Industrie-/Gewerbeflächen gem. BbodSchV, Anh. 2) ab. Die orientierend mitgeführten Beziehungen weichen teils etwas stärker ab. Zur Ursache kann jedoch vor Wiederholung der Regressionsuntersuchung auf Basis größerer Wertepaar-Stichprobenumfänge keine sichere Aussage getroffen werden. In der Klasse (IV) weichen die Einzelbeziehungen etwas stärker vom Niveau in den Klassen (I) – (IV) ab. Anstieg und Abschnitt der Hauptklasse (IV) liegen jedoch wieder in der Größenordnung der drei anderen Belastungsklassen.



**Tabelle 11: Regressionsergebnisse Region Freiberg (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	<b>Gesamtgebiet</b>	158	150	0,9732	0,9471	-0,2558	0,9721
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	62	57	0,9778	0,9561	-0,2905	1,0148
	I-OL	45	43	0,9768	0,9542	-0,3010	1,0220
	I-OL-NG	37	35	0,9777	0,9558	-0,2996	1,0304
	I-OL-GL	8	8	0,9790	0,9584	-0,3003	0,9756
	I-AL	17	14	0,9740	0,9487	-0,2828	1,0318
	I-AL-A	10	7	0,9697	0,9404	-0,2527	0,9729
	I-AL-GL	7	7	0,9792	0,9588	-0,3075	1,0804
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	37	35	0,9826	0,9656	-0,2518	0,9911
	II-OL	33	31	0,9860	0,9721	-0,2842	1,0206
	II-OL-NG	28	27	0,9885	0,9772	-0,2645	1,0041
	II-OL-GL	5	5	0,9900	0,9802	-0,6095	1,3528
	II-AL	4	4	0,9628	0,9269	-0,1331	0,8926
	II-AL-A	0					
	II-AL-GL	4	4	0,9628	0,9269	-0,1331	0,8926
	<b>III-gering belastet</b>	31	28	0,9543	0,9108	-0,2231	0,9529
	III-OL	23	21	0,9476	0,8979	-0,2403	0,9853
	III-OL-NG	20	18	0,9514	0,9052	-0,2536	1,0082
	III-OL-GL	3					
	III-AL	8	7	0,9939	0,9879	-0,1900	0,9023
	III-AL-A	4	4	0,9943	0,9886	-0,1940	0,8090
	III-AL-GL	4	3	0,9999	0,9999	-0,1821	0,9585
	<b>IV-belastete Aue</b>	28	26	0,9192	0,8449	-0,2263	0,9241
	IV-OL	6	6	0,9285	0,8621	-0,2372	0,9548
	IV-OL-NG	6	6	0,9285	0,8621	-0,2372	0,9548
	IV-OL-GL	0					
	IV-AL	22	21	0,8892	0,7906	-0,1831	0,8598
	IV-AL-A	8	8	0,8566	0,7338	-0,0917	0,7511
	IV-AL-GL	13	12	0,8465	0,7166	-0,1158	0,8187

Für Cadmium in der Region Freiberg gleichen sich die Parameter der sicheren Regressionsbeziehungen der Belastungsklassen (I) bis (III) und jeweiligen Unterklassen untereinander noch deutlicher als beim Arsen. Hier schwanken die Werte des Abschnittes nur noch um knapp ein Zehntel (-0,22 bis -0,30), die des Anstieges von ca. 0,95 bis 1,05. Auch beim Cadmium weichen die Regressionsparameter der Unterklassen in der Belastungsklasse (IV), belastete Auen, etwas stärker vom Trendverhalten der Klassen (I) bis (III) ab. Abschnitt und Anstieg der Regressionsbeziehung der Hauptklasse (IV) liegen dabei wie beim Arsen wieder annähernd in der Größenordnung der Hauptklassen (I) bis (III). Die Regressionsbeziehungen widerspiegeln ein recht hohes Realwertenniveau für die RV-Gehaltsanteile von ca. 50 – 60 %, welches von niedrigen Cd-Gesamtgehalten zu höheren Gesamtgehalten praktisch gleich bleibt.

**Tabelle 12: Regressionsergebnisse Region Freiberg (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	<b>Gesamtgebiet</b>	158	152	0,9539	0,9099	-0,3424	0,9254
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	62	60	0,9574	0,9166	-0,6214	1,0357
	I-OL	45	43	0,9621	0,9256	-0,5420	1,0169
	I-OL-NG	37	36	0,9609	0,9233	-0,4921	1,0024
	I-OL-GL	8	8	0,9465	0,8958	-0,7647	1,0652
	I-AL	17	17	0,9287	0,8625	-0,4312	0,9321
	I-AL-A	10	10	0,9312	0,8671	-0,5503	0,9594
	I-AL-GL	7	7	0,9660	0,9332	-0,1466	0,8496
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	37	36	0,9407	0,8849	-0,2273	0,8880
	II-OL	33	33	0,9390	0,8817	-0,3976	0,9476
	II-OL-NG	28	28	0,9443	0,8917	-0,2675	0,9068
	II-OL-GL	5	5	0,9215	0,8492	-1,1610	1,2092
	II-AL	4	4	0,9824	0,9651	0,3234	0,6772
	II-AL-A	0					
	II-AL-GL	4	4	0,9824	0,9651	0,3234	0,6772
	<b>III-gering belastet</b>	31	30	0,9338	0,8719	-0,6395	1,0659
	III-OL	23	23	0,8938	0,7990	-0,6066	1,0413
	III-OL-NG	20	20	0,9096	0,8273	-0,6278	1,0572
	III-OL-GL	3					
	III-AL	8	8	0,9202	0,8467	-0,6722	1,0845
	III-AL-A	4					
	III-AL-GL	4	4	0,9548	0,9117	-1,1421	1,2333
	<b>IV-belastete Aue</b>	28	28	0,8808	0,7758	-0,0184	0,7943
	IV-OL	6					
	IV-OL-NG	6					
	IV-OL-GL	0					
	IV-AL	22	22	0,9204	0,8471	-0,2676	0,8693
	IV-AL-A	8	8	0,8632	0,7452	-0,0021	0,7853
	IV-AL-GL	13	13	0,9754	0,9513	-0,6567	0,9859

Im Falle von Blei unterscheiden sich die Regressionsparameter der sicheren Beziehungen der Belastungsklassen (I) bis (IV) im Vergleich zu Arsen und Cadmium am deutlichsten. Warum dabei die Beziehung der Belastungsklasse (I) einer sehr ähnlichen Beziehung folgt wie die Klasse (III), lässt sich vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Belastungscharakteristiken nicht erklären. Innerhalb der jeweiligen Unterklassen streuen Abschnitt und Anstieg der Regressionsbeziehungen etwa wie beim Arsen. Das führt in den Unterklassen zu Schwankung der ermittelten Realwerte für die RV-Gehaltsanteile von ca. 15 % der jeweils zugrunde liegenden Gesamtgehalte. Bei einem Pb-Gesamtgehalt im Oberboden in Höhe des Vorsorgewertes von 70 mg/kg liegen die RV-Gehalte zwischen 14,5 und 25,5 mg/kg, bei einem Pb-Gesamtgehalt in Höhe des Median der Region Freiberg von 425 mg/kg (zum Vergleich: Prüfwert Wohngebiete gem. BBodSchV = 400 mg/kg) zwischen 86 und 138,9 mg/kg. Im Mittel nehmen die RV-Anteile von niederen zu sehr hohen Gesamtgehalten im Trend leicht ab. In Abhängigkeit von den einzelnen Regressionsbeziehungen liegen sie jedoch generell bei knapp 1/4 bis etwa 1/3 der Gesamtgehalte. Beim Gesamtgehaltsmedian von 425 mg/kg findet sich ein Maximalunterschied hinsichtlich der zugehörigen RV-Gehalte zwischen I-OL bzw. III-OL mit 135 mg/kg einerseits und IV-AL mit 104 mg/kg andererseits von 23 %. Ob die nur beim Blei in den sicheren Beziehungen der Unterklassen (I) und (IV) im außerörtlichen Bereich jeweils im untersten Gehaltsanteilsniveau gelegenen Werte eine sachliche Erklärung z.B. als Aus-

wirkung der Flächenbewirtschaftung erkennen lassen, lässt sich hier nur vermuten und sollte mit einer erweiterten Wertepaarmatrix weiter untersucht werden.

Zusammengefasst können für die Region Freiberg folgende Aussagen getroffen werden:

Beim Arsen, eindeutiger noch beim Cadmium, führen weder markante Unterschiede im Trendverhalten der Regressionsbeziehungen noch in der Größenordnung der Parameter Abschnitt und Anstieg bei Übertragung der Beziehung in die Realwertefunktionen zu signifikanten Abweichungen beim Verhältnis Gesamtgehalt zum zugehörigen berechneten resorptionsverfügbaren Gehaltsanteil. Das Maß der Abweichungen dürfte sich dabei zum großen Teil noch durch im Analytikbereich anzunehmende verfahrensbedingte Bestimmungsfehler erklären lassen. Insofern ist ein Getrennthalten der Regressionsbeziehungen der Hauptbelastungsklassen/Unterklassen nicht erforderlich. Stattdessen ist für beide Elemente eine Nutzung der Gesamtgebietsbeziehung mit nur geringen Abweichungen zu den Einzelbeziehungen als generalisierende Regressionsbeziehung gerechtfertigt.

Im Falle von Blei streuen die Klassenwerte zueinander etwas stärker. Aber auch hier ist eine differenzierte Anwendung von Regressionsbeziehungen für Unterklassen (3. bzw. 4. Gliederungsebene) nicht zweckmäßig. Abschnitt und Anstieg der Beziehungen der Hauptbelastungsklassen streuen sogar noch etwas mehr, da diese Beziehungen stärker durch Wertepaare unsicherer Beziehungen von Unterklassen beeinflusst sind. Die ermittelte Gesamtgebietsbeziehung bedingt im Vergleich zur am stärksten abweichenden Unterklasse (III-OL-NG) bei Anwendung auf den Gesamtgehaltsmedian noch eine Abweichung des berechneten RV-Gehaltes von 18,6 mg/kg bzw. ca. 13 %, beim Bezug auf die am stärksten abweichende Hauptbelastungsklasse (III) 22,3 mg/kg bzw. ca. 15 %. Das spricht auch beim Blei für eine Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung.

Für alle drei Elemente gilt, dass die Streuung der Regressionsbeziehungen in der Belastungsklasse (IV) am größten ist. Das war im Sinne der besonderen Belastungscharakteristik der Auen zu erwarten, rechtfertigt im Falle der Region Freiberg auch nicht beim Blei die Anwendung der spezifischen Regressionsbeziehung.

#### **4.2.2 Region Ehrenfriedersdorf/Geyer**

In der Tabelle 13 bis 15 sind die Kennwerte der für die Region Ehrenfriedersdorf/Geyer gefundenen Regressionsbeziehungen dargestellt. Die Zusammenstellung der entsprechenden Punktdiagramme mit den Übersichten zu den spezifischen Regressionsbeziehungen findet sich in der Anlage 3. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabelle 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen.

**Tabelle 13: Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analyisierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	<b>Gesamtgebiet</b>	108	105	0,9444	0,8919	-0,7993	0,9840
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	35	34	0,9760	0,9527	-1,2530	1,1415
	I-OL	27	26	0,9600	0,9215	-1,2330	1,1238
	I-OL-NG	7	6	0,9271	0,8595	-1,2048	1,1001
	I-OL-GL	20	20	0,9673	0,9356	-1,2320	1,1271
	I-AL	8	8	0,9925	0,9850	-0,9881	1,0818
	I-AL-A	2					
	I-AL-GL	6	6	0,9920	0,9840	-0,9474	1,0616
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	39	37	0,8163	0,6663	-0,3684	0,7834
	II-OL	24	22	0,8648	0,7479	-0,2726	0,7143
	II-OL-NG	3	3				
	II-OL-GL	21	19	0,8584	0,7369	-0,2401	0,7045
	II-AL	15	13	0,9010	0,8118	-0,1784	0,7580
	II-AL-A	8	7	0,8033	0,6452	0,1443	0,6421
	II-AL-GL	6	6	0,9355	0,8752	-0,3742	0,7975
	<b>III-gering belastet</b>	14	13	0,9237	0,8532	-0,1997	0,7468
	III-OL	9	8	0,9224	0,8508	-0,0502	0,6466
	III-OL-NG	3	3				
	III-OL-GL	6	5	0,9878	0,9758	0,0053	0,6349
	III-AL	5	4	0,9996	0,9992	-0,0601	0,7244
	III-AL-A	4	4	0,9996	0,9992	-0,0601	0,7244
	III-AL-GL	0	0				
	<b>IV-belastete Aue</b>	20	19	0,9043	0,8177	-0,6024	0,9336
	IV-OL	16	16	0,9182	0,8431	-0,9075	1,0185
	IV-OL-NG	1					
	IV-OL-GL	15	15	0,9386	0,8809	-0,7050	0,9553
	IV-AL	4	4				
	IV-AL-A	0					
	IV-AL-GL	3	3				

Für Arsen in der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer lassen sich an Hand der Parameter Abschnitt und Anstieg die Hauptbelastungsklassen (I), (II / III) und (IV) recht deutlich differenzieren. Dagegen ähneln sich die spezifischen Belastungsklassen (I), (II) und (IV) und deren Unterklassen in Abschnitt und Anstieg eher stark. Das gilt mit der oben diskutierten Aussageunsicherheit auch für die Belastungsklasse (III) bei Berücksichtigung der orientierend betrachteten Beziehungen. Zwischen den Unterklassen der Belastungsklassen (I), (II) und (IV) weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich, 25 mg/kg (=PWK) bis 1.300 mg/kg (= P90 Region), die berechneten RV-Gehalte nur sehr gering zwischen 0 – 8,4 % bei der Klasse (I), hingegen stark von 43,4 – 69,8 % in der Klasse (II) bzw. 9,9 – 51,5 % in der Klasse (IV) voneinander ab. Die unsicheren Beziehungen der Unterklassen zu (III) entsprechen in der Größenordnung (II) / (IV). Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (I) bis (IV) berechneten RV-Gehalte differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich zwar erheblich um 8,6 – ca. 200(!) %. Die hohen Abweichungen liegen jedoch nur im Bereich des niedrigen Gesamtgehalts von 25 mg/kg (= PWK) vor. Dabei ist zu beachten, dass bei Gesamtgehalten in Höhe des PWK die Werte der RV-Gehalte durchweg noch unter der verfahrensbedingten analytischen Bestimmungsgrenze (= BG) von 10 mg/kg liegen. Selbst im Niveau eines Gesamtgehaltes von 50 mg/kg (= PWP, Prüfwert Wohngebiete gemäß BbodSchV, Anh. 2) liegt noch die Mehrzahl der RV-Gehalte unterhalb der BG. Im Niveau des regionalen Mediangehalts (261 mg/kg) beträgt die Abweichung nur noch 71,3 %. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile liegen von niedrigen zu hohen (Bezugs-)Gesamtgehalt, 25 mg/kg

(= PWK) bis 1.300 mg/kg (= P90 Region) in der Klasse (I) mit zunehmenden Trend zwischen 9 - 14 %. Für die Klassenbeziehungen (II) - (IV) gilt ein gegenläufiger, abnehmender Trend: stärker von 21 auf 9 % in der Klasse (II) bzw. von 28 auf 10 % in der Klasse (III) und geringer von 20 auf 16 % in der Klasse (IV). Über die Gesamtgebietsbeziehung für Arsen errechnete RV-Gehaltsanteile liegen annähernd konstant bei 14 - 15 %.

**Tabelle 14: Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	<b>Gesamtgebiet</b>	108	77	0,9228	0,8515	-0,5278	0,9975
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	35	28	0,9544	0,9108	-0,5673	1,0649
	I-OL	27	26	0,9346	0,8735	-0,5545	1,0497
	I-OL-NG	7	7				
	I-OL-GL	20	20	0,9629	0,9272	-0,5368	1,1053
	I-AL	8	3	0,9999	0,9998	-0,5791	1,1380
	I-AL-A	1	0				
	I-AL-GL	6	3	0,9999	0,9998	-0,5791	1,1380
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	39	25	0,7740	0,5991	-0,5111	0,8058
	II-OL	24	22	0,8636	0,7459	-0,5074	1,0858
	II-OL-NG	3	3	0,9993	0,9986	-0,5833	1,3753
	II-OL-GL	21	19	0,8390	0,7039	-0,5042	1,1043
	II-AL	15	3				
	II-AL-A	8	1				
	II-AL-GL	6	2				
	<b>III-gering belastet</b>	14	8	0,9640	0,9292	-0,2478	0,8582
	III-OL	9	8	0,9640	0,9292	-0,2478	0,8582
	III-OL-NG	3	3				
	III-OL-GL	6	5	0,9816	0,9636	-0,2133	0,8509
	III-AL	5	1				
	III-AL-A	4	0				
	III-AL-GL	0	0				
	<b>IV-belastete Aue</b>	20	18	0,8959	0,8026	-0,5771	1,0551
	IV-OL	16	15	0,8657	0,7494	-0,5368	0,9925
	IV-OL-NG	1	1				
	IV-OL-GL	15	14	0,8922	0,7961	-0,5403	1,0440
	IV-AL	4	3				
	IV-AL-A	0	0				
	IV-AL-GL	3	3				

Für Cadmium in der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer konnten nur in den Belastungsklassen (I), (II) und (IV) sichere Regressionsbeziehungen bestimmt werden. Dabei ähneln sich sowohl die Hauptklassen untereinander als auch die Unterklassen in Abschnitt und Anstieg sehr stark. Die Abschnittswerte liegen zwischen -0,50 bis -0,58, die Anstiegswerte schwanken im Bereich zwischen 0,99 und 1,10. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile liegen mit leicht zunehmenden Trend von niedrigen zu hohen (Bezugs-)Gesamtgehalten in den Klassen (I) und (IV) sowie leicht abnehmenden Trend in der Klasse (II) etwa zwischen 25 – 30 % der Gesamtgehalte. Für die nur orientierend betrachtete Klasse (III) ergeben sich allerdings RV-Gehaltsanteile um 50 %. Zwischen den Unterklassen der Belastungsklassen (I), (II) und (IV) weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich von 1 mg/kg (VW Cd) bis 3,3 mg/kg (P90, Region) die berechneten RV-Gehalte nur gering zwischen 3,6 – 11,2 % (I), ca. 0 – 2,6 % (II) bzw. ca. 0 – 5,3 % (IV) voneinander ab. Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (I), (II) und (IV) berechneten RV-Gehaltsanteile differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich um 12,5 – 19,8 %, dabei im gerings-

ten zwischen (I) und (IV), am stärksten zwischen (I) und (II). Über die Gesamtgebietsbeziehung errechnete RV-Gehaltsanteile liegen konstant bei 30 %.

**Tabelle 15: Regressionsergebnisse Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analyisierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	<b>Gesamtgebiet</b>	108	103	0,9392	0,8822	-0,8199	1,0267
	<b>I-Hütteneinfluss</b>	35	33	0,9640	0,9294	-1,0580	1,1250
	I-OL	27	27	0,9633	0,9280	-1,0082	1,1105
	I-OL-NG	7	7	0,9803	0,9611	-1,1125	1,1271
	I-OL-GL	20	20	0,9626	0,9265	-1,0121	1,1223
	I-AL	8	8				
	I-AL-A	1					
	I-AL-GL	6	6				
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	39	38	0,8586	0,7371	-0,7012	0,9533
	II-OL	24	24	0,7969	0,6351	-0,5008	0,8606
	II-OL-NG	3	3				
	II-OL-GL	21	21	0,8043	0,6469	-0,4406	0,8279
	II-AL	15	14	0,9284	0,8619	-0,9237	1,0528
	II-AL-A	8	7	0,9687	0,9384	-0,9491	1,0812
	II-AL-GL	6	6	0,9069	0,8225	-0,8643	1,0099
	<b>III-gering belastet</b>	14	13	0,9600	0,9215	-0,6748	0,9937
	III-OL	9	9	0,9684	0,9378	-0,6671	0,9847
	III-OL-NG	3	3				
	III-OL-GL	6	6	0,9803	0,9609	-0,5854	0,9647
	III-AL	5	4				
	III-AL-A	4	3	0,9995	0,9989	-1,2310	1,2722
	III-AL-GL	0					
	<b>IV-belastete Aue</b>	20	18	0,9518	0,9058	-0,6579	0,9623
	IV-OL	16	16	0,9788	0,9581	-0,7374	0,9841
	IV-OL-NG	1					
	IV-OL-GL	15	15	0,9714	0,9436	-0,7698	0,9996
	IV-AL	4	4				
	IV-AL-A	0					
	IV-AL-GL	3	3	0,9973	0,9947	-3,2534	2,2741

Für Blei in der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer lassen sich für alle vier ausgehaltenen Belastungsklassen und davon in den Klassen (I), (II) und (IV) auch für Unterklassen sichere Regressionsbeziehungen ermitteln. Nach Abschnitt und Anstieg sind die Regressionsbeziehungen der Hauptbelastungsklassen (II), (III) und (IV) sehr ähnlich. Nur die Parameter der Klasse (I) weichen davon stärker ab. Zwischen den jeweiligen Unterklassen streuen Abschnitt und Anstieg der sicher bestimmbar Regressionsbeziehungen ebenfalls nur gering. In der Belastungsklasse (II) zeigt sich jedoch zwischen den Unterklassen II-OL und II-AL ein größerer Unterschied zwischen den Abschnitts- und Anstiegswerten. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile für Blei liegen annähernd gleich bleibend von niedrigen zu hohen (Bezugs-) Gesamtgehalten in den Klassen (I) und (II) bei 15 – 17 %, in den Klassen (III) und (IV) leicht darüber bei 18 - 21 % der Gesamtgehalte. Zwischen den Unterklassen der Belastungsklassen (I), (II) und (IV) weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich von 70 mg/kg (VW Pb) bis 287 mg/kg (P90, Region) die berechneten absoluten RV-Gehalte nur gering mit 3,6 – 6,1 % in Klasse (I) bzw. 0 – 1,5 % in Klasse (IV) und etwas stärker mit ca. 6,2 – 17,3 % in Klasse (II) voneinander ab. Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (I) bis (IV) berechneten RV-Gehaltsanteile differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich hingegen deutlicher mit bis 38,5 %. Dabei sind im betrachteten Gesamtge-

haltsbereich über die Klassenbeziehungen (I) und (II) ermittelte RV-Gehaltsanteile mit 15 – 17 % annähernd gleich, während sich für die Klasse (IV) Werte von 18 – 19 % und für die Klasse (III) von 20 – 21 % ergeben. Über die Gesamtgebietsbeziehung für Blei errechnete RV-Gehaltsanteile liegen konstant bei 17 %.

Zusammengefasst können für die Region Ehrenfriedersdorf/Geyer folgende Aussagen getroffen werden:

Für Arsen besteht allgemein eine eher geringe Resorptionsverfügbarkeit trotz der zum einen ausgeprägten As-Anomalie der Region und zum anderen der sehr hohen Immissionsbedingten Gesamtgehalte in Gebieten der Belastungsklasse (I). Dabei findet sich eine deutliche Differenzierung zwischen den Regressionsbeziehungen der Hauptbelastungsklassen bzw. den damit berechneten RV-Gehaltsanteilen. Eine Unterscheidung der Regressionsbeziehungen innerhalb der Belastungsklassen (I) – (IV) schließt sich wegen der jeweils stark ähnelnden Regressionsparameter Abschnitt und Anstieg und damit nur geringen Differenzen berechneter RV-Gehalte aus. Dahingegen liefern die Beziehungen der Hauptbelastungsklassen deutlich unterschiedene RV-Gehalte (max. 40 % oder 9,4 mg/kg Unterschied zwischen (I) und (III) bei einem Gesamtgehalt von 125 mg/kg; max. 29 % oder 13,1 mg/kg zwischen (I) und (IV) beim regionalen As-Gehaltsmedian). Bei Anwendung der ermittelten Gesamtgebietsbeziehung halbieren sich die im direkten Vergleich der Belastungsklassen maximalen Unterschiede der RV-Gehaltsanteile annähernd (zur Klasse (III) auf ca. 21 % oder 4,8 mg/kg bei Gesamtgehalt von 125 mg/kg; zur Klasse (IV) auf ca. 16 % oder 7,2 mg/kg bezogen auf den Gehaltsmedian von 261 mg/kg). Insoweit wäre die Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung für Arsen vertretbar.

Beim Cadmium ähneln sich die Klassen (I), (II) und (IV) sehr stark, während die Klasse (III) eine stärker davon abgegrenzte Regressionscharakteristik aufweist, allerdings auch als unsicher gilt. Eine Differenzierung der sicher gebildeten Unterklassenbeziehungen ist wegen sehr geringer Berechnungsunterschiede nicht erforderlich. Die Gesamtgebietsbeziehung zeigt eine gute Übereinstimmung mit denen der einzelnen Belastungsklassen. Bei einem allgemein eher niedrigen Cd-Belastungslevel in den Oberböden der Region liegt der resorptionsverfügbare Gehaltsanteil von ca. 30 % außerdem noch überwiegend unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Damit spricht alles für die Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung bei einer Ermittlung der RV-Gehaltsanteile beim Cadmium.

Für Blei gleichen sich hinsichtlich der Hauptregressionsparameter Abschnitt und Anstieg die Belastungsklassen (II) bis (IV) deutlich, nur die Klasse (I) differiert hier stärker. Die jeweiligen Unterklassen, soweit mit sicheren Regressionsbeziehungen beschrieben, ähneln sich stark. Eine Ausnahme wird im Unterschied zwischen den Unterklassen II-OL und II-AL in der Belastungsklasse (II) gesehen (vgl. hier auch Beschreibung Blei in der Region Freiberg). Bei den über die Regressionsbeziehungen ermittelten absoluten RV-Gehaltsanteilen relativieren sich die Unterschiede nach den Abschnitt und Anstieg jedoch deutlich. Danach streuen die berechneten RV-Gehaltsanteile nur gering

zwischen 15 bis 21 %. Eine getrennte Aushaltung der belastungsgebietspezifischen Regressionsbeziehungen erscheint nach den absoluten RV-Gehaltsanteilsunterschieden nicht geboten. Die Gesamtgebietsbeziehung bildet die Situation ausreichend genau ab.

#### 4.2.3 Region Annaberg

In der Tabelle 16 bis 18 sind die Kennwerte der für die Region Annaberg gefundenen Regressionsbeziehungen dargestellt. Die Zusammenstellung der entsprechenden Punkt-Diagramme mit den Übersichten zu den spezifischen Regressionsbeziehungen findet sich in der Anlage 4. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabellen 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen. Im Unterschied zu den Regionen Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Geyer wurden für Annaberg nur die Belastungsgebiete (II) und (III) ausgehalten.

Für Arsen in der Region Annaberg lassen sich an Hand der Parameter Abschnitt und Anstieg die Hauptbelastungsklassen (II) und (III) deutlich differenzieren. Innerhalb der spezifischen Belastungsklassen gleichen sich Hauptklassen- und deren Unterklassenbeziehungen in Abschnitt und Anstieg eher stark. Eine etwas größere Abweichung zeigt die Unterklasse III-AL. Zwischen den Unterklassen der Belastungsklassen weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich von 25 mg/kg (=PWK) bis 150 mg/kg (= P90 Region) die berechneten RV-Gehalte nur gering zwischen 6,2 – 9,8 % bei der Klasse (II), hingegen stärker von 15,8 – 46,9 % in der Klasse (III) voneinander ab. Ohne die oben genannte Klasse III-AL liegt die Abweichung nur noch bei 6,2 – 10,8 %(!). Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (II) und (III) berechneten RV-Gehalte differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich eher gering mit 2,4 – 26,9 %. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigen zu hohen (Bezugs-)Gesamtgehalt in der Klasse (II) einem leicht zunehmendem Trend von 21 auf 28 %, in der Klasse (III) einem leicht abnehmendem Trend von 26 auf 24 %. Über die Gesamtgebietsbeziehung für Arsen errechnete RV-Gehaltsanteile liegen konstant bei ca. 26 %.

**Tabelle 16: Regressionsergebnisse Region Annaberg (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analyzierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	<b>Gesamtgebiet</b>	108	88	0,9285	0,8620	-0,5806	0,9958
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	48	41	0,9261	0,8576	-0,9567	1,1966
	II-OL	42	36	0,9308	0,8664	-0,9888	1,2154
	II-OL-NG	32	27	0,9558	0,9136	-0,9270	1,1990
	II-OL-GL	8	8	0,8975	0,8056	-0,3317	0,8041
	II-AL	6	3				
	II-AL-A	4	1				
	II-AL-GL	2					
	<b>III-gering belastet</b>	60	48	0,9250	0,8556	-0,4852	0,9334
	III-OL	48	37	0,9058	0,8204	-0,4511	0,9225
	III-OL-NG	32	25	0,9232	0,8522	-0,3827	0,8869
	III-OL-GL	16	13	0,7785	0,6060	-0,4762	0,9220
	III-AL	12	11	0,9215	0,8492	-0,7469	1,0290
	III-AL-A	6	6				
	III-AL-GL	6	5	0,9863	0,9727	-0,6172	0,9818



**Tabelle 17: Regressionsergebnisse Region Annaberg (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	<b>Gesamtgebiet</b>	108	18	0,9138	0,8350	-0,3142	1,0009
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	48	6	0,9476	0,8979	-0,3352	1,1817
	II-OL	42	5	0,9194	0,8454	-0,2653	0,9445
	II-OL-NG	32	3				
	II-OL-GL	8	2				
	II-AL	6	1				
	II-AL-A	4					
	II-AL-GL	2	1				
	<b>III-gering belastet</b>	60	12	0,9015	0,8126	-0,3121	0,9334
	III-OL	48	7	0,8145	0,6635	-0,3306	0,8248
	III-OL-NG	32	3				
	III-OL-GL	16	4				
	III-AL	12	5	0,9618	0,9250	-0,2949	0,9876
	III-AL-A	6	2				
III-AL-GL	6	3					

Für Cadmium in der Region Annaberg konnten entsprechend getroffener Wertungskonvention nur für das Gesamtgebiet und die Belastungsklasse (III) sichere Regressionsbeziehungen bestimmt werden. Zur Vergleichbetrachtung wurde die Beziehung der Belastungsklasse (II) deshalb orientierend mitgenutzt. Die Regressionsbeziehungen der Klassen (II) und (III) ähneln sich dabei beim Abschnittswert stark. Die etwas größere Differenz beim Anstiegswert wird mit dem Wert der Gesamtgebietsbeziehung annähernd gemittelt. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile liegen im (Bezugs-)Gesamtgehaltsbereich von 0,9 mg/kg (=Median) bis 1,9 mg/kg (=P90) in beiden Belastungsklassen bei etwa zwischen 45 - 52 % der Gesamtgehalte. Sie differieren damit nur unerheblich zwischen 6,5 – 11,2 %. Die über die Gesamtgebietsbeziehung errechneten RV-Gehaltsanteile liegen konstant bei 49 % vom jeweiligen Gesamtgehalt.

**Tabelle 18: Regressionsergebnisse Region Annaberg (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	<b>Gesamtgebiet</b>	108	102	0,9532	0,9086	-1,1588	1,2503
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	48	47	0,9669	0,9349	-1,0932	1,2337
	II-OL	42	41	0,9696	0,9401	-1,0558	1,2199
	II-OL-NG	32	32	0,9685	0,9379	-0,9866	1,1958
	II-OL-GL	8	7	0,9855	0,9712	-0,9758	1,1543
	II-AL	6	6	0,9538	0,9098	-1,5060	1,4004
	II-AL-A	4	4	0,9594	0,9205	-1,0548	1,2163
	II-AL-GL	2					
	<b>III-gering belastet</b>	60	56	0,9280	0,8611	-0,9967	1,1602
	III-OL	48	45	0,9231	0,8521	-1,0040	1,1653
	III-OL-NG	32	30	0,9121	0,8319	-1,2133	1,2593
	III-OL-GL	16	15	0,9135	0,8344	-0,6391	0,9839
	III-AL	12	11	0,9418	0,8871	-0,9891	1,1502
	III-AL-A	6	6	0,8439	0,7121	-1,5661	1,3980
	III-AL-GL	6	6	0,9423	0,8880	-1,0532	1,1721

Für Blei in der Region Annaberg lassen sich in beiden ausgehaltenen Belastungsklassen und teilweise bis zur vierten Gliederungsebene eine Reihe sichere Unterklassenbeziehungen ermitteln. Abschnitt und Anstieg streuen dabei zwischen den Belastungsklassen und deren Unterklassen nur

gering. Auffallender weichen die Parameter zu III-OL-NG und III-OL-GL voneinander ab. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile für Blei liegen bei einem in beiden Belastungsklassen zunehmenden Trend von niedrigen zu hohen (Bezugs-) Gesamtgehalten, von 70 mg/kg (VW Pb) auf 320 mg/kg (P90, Region), bei 22 – 31 % (Klasse II) bzw. 20 – 25 % (Klasse III) der Gesamtgehalte. Die zugehörigen absoluten RV-Gehalte differieren dabei mit 9,4 bis 22,3 %. Zwischen den Unterklassen der Belastungsklassen weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich die berechneten absoluten RV-Gehalte gering mit 2,0 – 5,7 % in Klasse (II) und, bei den stärker streuenden Abschnitts- und Anstiegswerten erwartungsgemäß etwas stärker mit ca. 5,7 – 30,6 % in Klasse (III) voneinander ab. Über die Gesamtgebietsbeziehung für Blei errechnete RV-Gehaltsanteile steigen vom niedrigen zum hohen (Bezugs-) Gesamtgehalt von 20 – 29 %. Die Beziehung folgt damit dem klaren Trend in den Belastungsklassen und liegt im Niveau etwa zwischen beiden.

Zusammengefasst können für die Region Annaberg folgende Aussagen getroffen werden:

Für die Region Annaberg konnten nur die beiden Belastungsklassen (II, zentraler Lagerstättenbereich), und (III, Randgebiet der Lagerstätte bzw. normal belastet) ausgehalten werden. Beim Element Arsen unterscheiden sich die beiden Klassen hinsichtlich der Regressionsparameter, Abschnitt und Anstieg, deutlich. Eine signifikante Differenzierung zwischen den untersuchten sicheren Beziehungen der jeweiligen Unterklassen findet sich nicht, wobei jedoch der Unterschied zwischen III-AL und III-OL zu beachten ist. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigem zu hohem (Bezugs-)Gesamtgehalt in den beiden Klassen einem gegenläufigen Trend, welcher im Mittel jedoch gut über den annähernd konstanten RV-Gehaltsanteil von ca. 26 % der Gesamtgebietsbeziehung beschrieben werden kann. Bezogen auf das regionale Gehaltsmedian-Niveau von 67,5 mg/kg ergeben sich damit nur minimale Unterschiede zwischen den absoluten RV-Gehalten, in der Belastungsklasse (II) und (III) von 17 mg/kg, für die Gesamtregion 18 mg/kg. Beim P90 – Gehalt (150 mg/kg) liegen die absoluten RV-Gehalte bei 44,4 mg/kg in Klasse (II), bei 35,1 mg/kg in Klasse (III) und nach der Gesamtbeziehung bei 38,6 mg/kg. Damit erscheint die Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung Region Annaberg für Arsen sinnvoll.

Für Cadmium in der Region Annaberg ließen sich wegen des Wertepaarumfanges nur eingeschränkt die Hauptklassen untersuchen, welche sich hinsichtlich der Hauptregressionsparameter Abschnitt und Anstieg nur gering unterscheiden. Dabei ergibt sich sowohl nach den Beziehungen der Belastungsklassen (II) und (III), als auch nach der Gesamtbeziehung ein mit ca. 50 % gleichermaßen hoher RV-Gehaltsanteil. Bezogen auf den Gesamtgehaltsmedian von 0,9 mg/kg und bis zu einem Gehalt in Höhe des P90-Niveaus (1,9 mg/kg) liegen damit die RV-Gehalte durchweg noch unter der analytischen BG von 1 mg/kg. Die Gesamtgehalts- (RV-Gehalts)Beziehung wird durch die Gesamtgebietsbeziehung gut beschrieben. Eine Unterscheidung nach Belastungsklassen ergibt hier keine signifikant abweichenden Werte.

Für Blei gleichen sich hinsichtlich der Hauptregressionsparameter Abschnitt und Anstieg die Belastungsklassen (II) und (III) noch deutlicher als beim Arsen. Auch die jeweiligen Unterklassen, soweit

mit sicheren Regressionsbeziehungen beschrieben, ähneln sich stark. Auf die deutlichere Abweichung zwischen den Unterklassen III-OL-NG und III-OL-GL wurde hingewiesen, wobei sich eine schlüssige Erklärung im Rahmen der erfolgten Untersuchungen nicht ergab. Die nach der Gesamtgebietsbeziehung ermittelten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen gleichermaßen zunehmendem Trend wie bei einer Berechnung nach den Beziehungen der Belastungsklassen (II) bzw. (III). Dabei liegen die absoluten Werte nach Gesamtgebietsbeziehung etwa im Niveau zwischen denen der beiden Belastungsklassen, was für die Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung spricht.

#### 4.2.4 Region Wolkenstein/Marienberg

In der Tabelle 19 bis 21 sind die Kennwerte der für die Region Wolkenstein/Marienberg gefundenen Regressionsbeziehungen dargestellt. Die Zusammenstellung der entsprechenden Punkt-Diagramme mit den Übersichten zu den spezifischen Regressionsbeziehungen findet sich in der Anlage 5. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabellen 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen. Wie im Fall der Region Annaberg wurden auch hier nur die Belastungsgebiete (II) und (III) ausgehalten. Die Angabe der Teilregionsbeziehungen Wolkenstein und Marienberg, jeweils undifferenziert, erfolgte nur versuchsweise. Sie werden nicht diskutiert, da eine solche Gebietstrennung aus metallogenetischer Sicht nicht sinnvoll ist.

**Tabelle 19: Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	Wolkenst.,undiff.	20	13	0,8590	0,7380	0,1080	0,6261
	Mariemb.,undiff.	64	52	0,9465	0,8959	-0,5748	0,9916
	<b>Gesamtgebiet</b>	84	66	0,9324	0,8693	-0,4947	0,9522
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	40	36	0,9333	0,8710	-0,5704	0,9837
	II-OL	33	29	0,9231	0,8520	-0,5110	0,9561
	II-OL-NG	22	18	0,9282	0,8616	-0,4801	0,9379
	II-OL-GL	11	11	0,9138	0,8350	-0,5939	1,0034
	II-AL	7	7	0,9837	0,9677	-0,9725	1,1711
	II-AL-A	6	6	0,9813	0,9629	-0,9799	1,1745
	II-AL-GL	1					
	<b>III-gering belastet</b>	44	31	0,9309	0,8666	-0,4011	0,9146
	III-OL	36	25	0,8596	0,7390	-0,1841	0,7889
	III-OL-NG	28	18	0,9005	0,8108	-0,4510	0,9426
	III-OL-GL	8	7	0,8013	0,6421	0,2948	0,5241
	III-AL	8	6	0,9783	0,9570	-0,6495	1,0445
	III-AL-A	4	3	0,9997	0,9995	-1,1672	1,2930
	III-AL-GL	4	3				

Für Arsen in der Region ergeben sich an Hand der Parameter Abschnitt und Anstieg für die Hauptbelastungsklassen (II) und (III) keine großen Unterschiede. Dabei differieren die jeweiligen Unterklassen etwas stärker. Zwischen den Unterklassen der spezifischen Belastungsklassen weichen im zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich von 25 mg/kg (= PWK) bis 140 mg/kg (= P90 Region) die berechneten absoluten RV-Gehalte nur gering zwischen 0,7 – 6,5 % bei der Klasse (II) etwas stärker von 1,2 – 15,5 % in der Klasse (III) voneinander ab. Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (II) und (III) berechneten RV-Gehalte differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich um 5,2 – 17,2 %. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen vom niedrigen

zum hohen (Bezugs-)Gesamtgehalt einem leicht abnehmenden Trend von 26 auf 25 % in der Klasse (II), von 30 auf 26 % in der Klasse (III). Über die Gesamtgebietsbeziehung für Arsen errechnete RV-Gehaltsanteile nehmen ebenfalls geringfügig von 27 auf 25 % ab.

Die Regressionsbeziehung für Cadmium konnte mangels ausreichender Wertepaarumfänge nur orientierend für das Gesamtgebiet bestimmt werden. Über die Regressionsbeziehung bei einem zugrunde liegenden Gesamtgehaltsbereich von 0,9 mg/kg (= Gehaltsmedian) bis 1,8 mg/kg (= P90) berechnete RV-Gehaltsanteile liegen mit stark abnehmendem Trend bei 93 bis 68 % der Bezugsgehalte. Diese Größenordnung wird als sehr unsicher betrachtet. Hier ist eine Wiederholung der Regressionsuntersuchung nach Verbesserung der Wertebasis unbedingt nötig. Die gefundene Beziehung wird deshalb auch im regionalen Vergleich nur orientierend betrachtet.

**Tabelle 20: Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	Wolkenst.,undiff.	20	1				
	Mariemb.,undiff.	64	6	0,9680	0,9370	-0,0371	0,5519
	<b>Gesamtgebiet</b>	84	7	0,9429	0,8890	-0,0506	0,5488
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	40	1				
	II-OL	33					
	II-OL-NG	22					
	II-OL-GL	11					
	II-AL	7					
	II-AL-A	6					
	II-AL-GL	1					
	<b>III-gering belastet</b>	44	6				
	III-OL	36					
	III-OL-NG	28					
	III-OL-GL	8					
	III-AL	8	4				
	III-AL-A	4	3				
	III-AL-GL	4	1				

**Tabelle 21: Regressionsergebnisse Region Wolkenstein/Marienberg (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	Wolkenst.,undiff.	20	17	0,9606	0,9227	-1,8684	1,5823
	Mariemb.,undiff.	64	62	0,9139	0,8352	-0,8166	1,1045
	<b>Gesamtgebiet</b>	84	80	0,9104	0,8287	-0,9604	1,1710
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	40	38	0,9088	0,8259	-0,8783	1,1208
	II-OL	33	31	0,9246	0,8549	-0,9574	1,1645
	II-OL-NG	22	20	0,9302	0,8653	-0,8483	1,1158
	II-OL-GL	11	10	0,9823	0,9650	-1,5306	1,4497
	II-AL	7	7	0,8489	0,7206	-0,6908	1,0104
	II-AL-A	6	6	0,8128	0,6607	-0,7751	1,0470
	II-AL-GL	1					
	<b>III-gering belastet</b>	44	40	0,9356	0,8754	-1,0183	1,2089
	III-OL	36	33	0,9117	0,8312	-1,2070	1,2939
	III-OL-NG	28	25	0,8911	0,7940	-1,1097	1,2522
	III-OL-GL	8	8	0,9585	0,9188	-1,4498	1,3925
	III-AL	8	8	0,9717	0,9442	-0,7511	1,0976
	III-AL-A	4	4	0,9911	0,9823	-1,4166	1,3806
	III-AL-GL	4	4	0,9680	0,9371	-0,1329	0,7777

Bei den Regressionsbeziehungen für Blei unterscheiden sich die Parameter Abschnitt und Anstieg für die Hauptbelastungsklassen (II) und (III) nur gering. Dabei differieren die jeweiligen Unterklassen etwas stärker. Bezogen auf einen zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich von 70 mg/kg (= VW) bis 250 mg/kg (= P90 Region) streuen die berechneten absoluten RV-Gehalte zwischen 2,3 – 31,4 % in der Klasse (II) und sehr gering von 0,5 – 5,3 % in der Klasse (III). Die über die Beziehungen der übergeordneten Belastungsklassen (II) und (III) berechneten RV-Gehalte differieren im genutzten Gesamtgehaltsbereich um 5,2 – 17,8 %. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigem zu hohem (Bezugs-)Gesamtgehalt jeweils einem zunehmenden Trend von 22 auf 26 % in der Klasse (II), von 23 auf 30 % in der Klasse (III). Über die Gesamtgebietsbeziehung für Blei errechnete RV-Gehaltsanteile liegen im Bereich von 23 auf 28 % bei gleichem Trendverhalten ziemlich genau zwischen den Werten der beiden ausgehaltenen Belastungsklassen.

Zusammengefasst können für die Region Wolkenstein/Marienberg folgende Aussagen getroffen werden:

In dieser Region konnten ebenfalls nur die beiden Belastungsklassen (II, zentraler Lagerstättenbereich) und (III, Randgebiet der Lagerstätte bzw. normal belastet) ausgehalten werden. Dabei ist die nur bedingt mögliche Abgrenzung zur Region Pobershau über die Lagerstättencharakteristik zu beachten (vergleiche oben).

Beim Element Arsen unterscheiden sich die beiden Belastungsklassen mit den zugehörigen Unterklassen nicht signifikant. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigem zu hohem (Bezugs-)Gesamtgehalt in den beiden Klassen einem vergleichbaren, leicht abnehmenden Trend. Bezogen auf das regionale Gehaltsmedian-Niveau von 58 mg/kg ergeben sich absolute RV-Gehalte von 15 mg/kg (ca. 25 % vom Gesamtgehalt) in der Belastungsklasse (II), 16 mg/kg (ca. 28 % vom Gesamtgehalt) in der Belastungsklasse (III), für die Gesamtregion ebenfalls 15 mg/kg. Beim P90-Gehalt (140 mg/kg) liegen die absoluten RV-Gehalte bei 34,7 mg/kg (ca. 25 %) in Klasse (II), bei 36,5 mg/kg (ca. 26 %) in Klasse (III) und nach der Gesamtbeziehung bei 35,4 mg/kg (ca. 25 %). Damit ist eine alleinige Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung für Arsen vorerst sinnvoll.

Einzig die Regressionsbeziehung für Cadmium im Gesamtgebiet konnte bestimmt werden. Sie ist jedoch mangels ausreichender Datenbasis sehr unsicher. Eine Neubestimmung mit erweitertem Wertepaarumfang ist hier notwendig.

Für Blei gleichen sich hinsichtlich der Hauptregressionsparameter Abschnitt und Anstieg. Die Regressionsparameter der jeweiligen Unterklassen, soweit mit sicheren Regressionsbeziehungen beschrieben, unterscheiden sich auch nur gering. Dabei streuen sie in der Klasse (II) etwas stärker. Die nach der Gesamtgebietsbeziehung ermittelten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen gleichermaßen wie bei den Beziehungen der Belastungsklassen (II) bzw. (III) einem zunehmenden Trend.

Dabei liegen die absoluten RV-Gehalte bezogen auf das regionale Gehaltsmedian-Niveau von 110 mg/kg bei 26 mg/kg (ca. 23 % vom Gesamtgehalt) in der Belastungsklasse (II), 28 mg/kg (ca. 26 % vom Gesamtgehalt) in der Belastungsklasse (III) und für die Gesamtregion bei 27 mg/kg (ca. 24 % vom Gesamtgehalt).

Damit liegen die nach der Gesamtgebietsbeziehung ermittelten Werte mit jeweils minimaler Differenz zwischen den jeweiligen Werten der beiden Belastungsklassen. Auch in diesem Fall ist damit die Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung für Blei in der Region gerechtfertigt.

#### 4.2.5 Region Pobershau

In der Tabelle 22 bis 25 sind die Kennwerte der für die Region Pobershau gefundenen Regressionsbeziehungen dargestellt. Die Zusammenstellung der entsprechenden Punkt-Diagramme mit den Übersichten zu den spezifischen Regressionsbeziehungen findet sich in der Anlage 6. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabellen 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen. Wie im Fall der Region Annaberg wurden auch hier nur die Belastungsgebiete (II) und (III) ausgehalten.

Für den Bereich der Region Pobershau lassen die verfügbaren Wertepaarumfänge (22 Stück) und der oben erläuterten Abgrenzung sicherer von nur orientierend zu berücksichtigenden Regressionsbeziehungen nur eine stark eingeschränkte Regressionsuntersuchung für Arsen und Blei zu. Für Cadmium konnte überhaupt keine Regressionsbeziehung bestimmt werden.

**Tabelle 22: Regressionsergebnisse Region Pobershau (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	<b>Gesamtgebiet</b>	28	22	0,9416	0,8867	-0,5147	0,9276
	<b>II-zentr. Lagerst.</b>	19	15	0,9535	0,9091	-0,6480	0,9696
	II-OL	12	9	0,9705	0,9419	-0,5229	0,9014
	II-OL-NG	7	5	0,9594	0,9205	-0,5797	0,9330
	II-OL-GL	5	4	0,9804	0,9611	-0,4808	0,8787
	II-AL	7	6	0,9070	0,8227	-0,6931	0,9960
	II-AL-A	3					
	II-AL-GL	4					
	<b>III-gering belastet</b>	9	7	0,9820	0,9643	-0,5704	1,0083
	III-OL	4	4				
	III-OL-NG	1					
	III-OL-GL	3					
	III-AL	5	3	0,9995	0,9989	-0,7290	1,0759
	III-AL-A	0					
	III-AL-GL	5	3	0,9995	0,9989	-0,7290	1,0759

Die gefundenen Beziehungen beim Arsen sind nur für die Gesamtgebiets- und die Hauptklassenbeziehung (II) als sicher einzustufen. Im vorliegenden Fall wird auch die Hauptklassenbeziehung (III) nicht orientierend berücksichtigt, das heißt, es erfolgt kein Belastungsklassenvergleich. Bei den sicheren Beziehungen Gesamtgebiet und Belastungsklasse (II) weichen die Regressionsparameter Abschnitt und Anstieg nur minimal voneinander ab. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigem zu hohem (Bezugs-)Gesamtgehalt (25 mg/kg = PWK bis 230 mg/kg = P90

Region) in beiden Fällen einem leicht abnehmenden Trend. In der Belastungsklasse (II) nehmen die Gehaltsanteile von 20 auf 19 %, in der Gesamtgebietsbeziehung etwas stärker, aber auch von einem geringfügig höheren Niveau ausgehend, von 24 auf 21 % ab. Bezogen auf das regionale Gehaltsmedian-Niveau von 68 mg/kg ergeben sich damit absolute RV-Gehalte von 13,5 mg/kg (ca. 20 % vom Gesamtgehalt) in der Belastungsklasse (II) und 15,3 mg/kg (ca. 23 % vom Gesamtgehalt) für die Gesamtregion.

**Tabelle 23: Regressionsergebnisse Region Pobershau (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	Gesamtgebiet	28	2				
	II-zentr. Lagerst.	19					
	II-OL	12					
	II-OL-NG	7					
	II-OL-GL	5					
	II-AL	7					
	II-AL-A	3					
	II-AL-GL	4					
	III-gering belastet	9					
	III-OL	4					
	III-OL-NG	1					
	III-OL-GL	3					
	III-AL	5					
	III-AL-A	0					
	III-AL-GL	5					

**Tabelle 24: Regressionsergebnisse Region Pobershau (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimm- theitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	Gesamtgebiet	28	26	0,8818	0,7776	-0,3741	0,9128
	II-zentr. Lagerst.	19	17	0,8897	0,7916	-0,3767	0,9111
	II-OL	12	9	0,8778	0,7705	-0,3261	0,8876
	II-OL-NG	7	7	0,8130	0,6609	-0,9344	1,1926
	II-OL-GL	5	4				
	II-AL	7	7	0,8963	0,8034	-0,5482	0,9913
	II-AL-A	3	3				
	II-AL-GL	4	4				
	III-gering belastet	9	9	0,8586	0,7372	-0,3338	0,8984
	III-OL	4	4	0,9962	0,9925	-1,5306	1,5028
	III-OL-NG	1					
	III-OL-GL	3	3	0,9973	0,9946	-1,5353	1,5076
	III-AL	5	5				
	III-AL-A	0					
	III-AL-GL	5	5				

Für Blei sind wie beim Arsen nur die Gesamtgebiets- und die Hauptklassenbeziehung (II) als sicher einzustufen. Auch hier wird die Hauptklassenbeziehung (III) nicht orientierend berücksichtigt. Bei den sicheren Beziehungen Gesamtgebiet und Belastungsklasse (II) sind die Regressionsparameter Abschnitt und Anstieg fast identisch. Die berechneten absoluten RV-Gehaltsanteile folgen von niedrigem zu hohem (Bezugs-)Gesamtgehalt (70 mg/kg = VW bis 200 mg/kg = P90 Region = PWK) in beiden Fällen einem leicht abnehmenden Trend. Dabei betragen mit vernachlässigbarer Differenz zwischen der Gesamtbeziehung Region und Belastungsklasse (II) die RV-Gehalte

ca. 20 mg/kg beim Gesamtgehalt von 70 mg/kg (VW; ca. 29 % vom Gesamtgehalt), ca. 28 mg/kg beim Gesamtgehaltsmedian (ca. 28 % vom Gesamtgehalt) und ca. 52 mg/kg beim P90/PWK (ca. 27 % vom Gesamtgehalt).

Zusammengefasst ist damit vorerst eine Anwendung der gefundenen Gesamtgebietsbeziehungen zur Ermittlung der resorptionsverfügbaren Gehaltsanteile für Arsen sowie Blei in der Region Pöbberschau gerechtfertigt.

#### 4.2.6 Region Zschopauaue

In der Tabelle 25 bis 27 sind die Kennwerte der für die Region Zschopauaue gefundenen Regressionsbeziehungen dargestellt. Die Zusammenstellung der entsprechenden Punkt-Diagramme mit den Übersichten zu den spezifischen Regressionsbeziehungen findet sich in der Anlage 7. Hinsichtlich der Berechnung absoluter RV-Gehaltsbezüge wird auf die Tabellen 28 bis 30 zum Punkt 4.3 verwiesen.

**Tabelle 25: Regressionsergebnisse Region Zschopauaue (Arsen)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Arsen	<b>Zscho-ges</b>	100	97	0,8969	0,8044	-1,0180	1,0798
	<b>III-nob-Zscho</b>	60	57	0,9324	0,8694	-1,1586	1,1546
	nob-Zscho-OL	29	28	0,9466	0,8960	-1,3445	1,2752
	nob-Zscho-OL-NG	24	24	0,9474	0,8976	-1,3678	1,2858
	nob-Zscho-OL-GL	5	4				
	nob-Zscho-AL	31	29	0,9055	0,8199	-1,0833	1,1063
	nob-Zscho-AL-A	15	14	0,9355	0,8751	-1,0553	1,0836
	nob-Zscho-AL-GL	15	12	0,9113	0,8304	-0,7880	0,9840
	<b>IV-stb-Zscho</b>	40	39	0,7908	0,6254	-0,9346	1,0360
	stb-Zscho-OL	15	13	0,8298	0,6885	-0,4541	0,8055
	stb-Zscho-OL-NG	12	12				
	stb-Zscho-OL-GL	3	3				
	stb-Zscho-AL	25	24	0,8141	0,6627	-1,1216	1,1174
	stb-Zscho-AL-A	10	10	0,8005	0,6408	-0,9447	0,9719
	stb-Zscho-AL-GL	15	14	0,8643	0,7470	-1,1570	1,1791
	<b>V_ob-Zscho</b>	30	30	0,8510	0,7242	-0,7767	0,9952
	ob-Zscho-OL	15	15	0,8743	0,7644	-0,6599	0,8919
	ob-Zscho-OL-NG	11	11	0,8808	0,7759	-0,6581	0,8863
	ob-Zscho-OL-GL	4	4				
	ob-Zscho-AL	15	15	0,8393	0,7044	-0,7141	1,0090
	ob-Zscho-AL-A	5	5	0,9194	0,8454	-0,5445	0,8771
	ob-Zscho-AL-GL	9	9	0,8268	0,6836	-0,7456	1,0668
	<b>V_unt-Zscho</b>	70	68	0,9082	0,8249	-1,0860	1,1028
	unt-Zscho-OL	29	28	0,9483	0,8993	-1,2006	1,1828
	unt-Zscho-OL-NG	25	25	0,9438	0,8907	-1,2141	1,1912
	unt-Zscho-OL-GL	4	3	0,9996	0,9993	-0,9664	1,0285
	unt-Zscho-AL	41	40	0,8656	0,7493	-1,0249	1,0611
	unt-Zscho-AL-A	20	20	0,8397	0,7050	-0,8250	0,9434
	unt-Zscho-AL-GL	21	20	0,8877	0,7881	-1,2365	1,1743

Im Fall der Region Zschopauaue wurden die Belastungsklassen (III), (IV) sowie zwei Klassen für die Teilabschnitte Oberlauf (V) bzw. Unterlauf (VI) gebildet (vgl. dazu Punkt 3.2). Die Vergleiche der Regressionsbeziehungen erfolgten damit nach diesen zwei Varianten. Ein vergleichsweise großer



Wertepaarumfang ermöglichte in diesem Fall für alle drei Elemente Arsen, Cadmium und Blei für alle Hauptbelastungsklassen, (III) bis (VI) und jeweils die überwiegenden Unterklassen die Aufstellung sicherer Regressionsbeziehungen.

Beim Vergleich der Regressionsbeziehungen für Arsen nach den Parametern Abschnitt und Anstieg zeigt sich folgende Situation:

In den Belastungsklassen (III) und (IV) streuen für die Unterklassen beide Parameter in einem relativ großen Bereich, wobei sich beide Klassen kaum differenzieren lassen. In der Klasse (III) streuen die Abschnittswerte zwischen -0,79 und -1,37, die Anstiegswerte zwischen 0,98 und 1,29. In der Klasse (IV) streuen die Abschnitte zwischen -0,45 und -1,15, die Anstiege von 0,81 bis 1,18. Entsprechend schwanken in Abhängigkeit vom zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich, hier von 25 mg/kg (= PWK) über den Gehaltsmedian der Gesamtregion 118 mg/kg bis 453 mg/kg (= P90 Region), die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen relativ betrachtet eher stark, in der Klasse (III) um ca. 28 – 68 %, in der Klasse (IV) sogar um 65 – 118 %. Systematische Unterschiede können dabei nicht erkannt werden. So stehen in der Klasse (III) vergleichsweise höheren RV-Gehaltsanteilen in der Ortslage niedrigeren Werten außerorts gegenüber. In der Klasse (IV) bildet sich eine solche Beziehung nicht ab. Die absoluten RV-Gehaltsanteile steigen in beiden Klassen vom niedrigen zum höheren (Bezugs-)Gesamtgehalt mit nur gering abweichendem Trend: in der Belastungsklasse (III) von ca. 11 – 15 % (Hauptklasse: 11 %) auf 15 – 25 % (Hauptklasse: 18 %), in der Belastungsklasse (IV) von ca. 10 – 19 % (Hauptklasse: 13 %) auf 10 – 21 % (Hauptklasse: 14 %). Die regionale Gesamtbeziehung Zschopauaue, bei welcher die berechneten RV-Gehaltsanteile von ca. 12 % (bei PWK As) bis ca. 16 % (bei P90 Region) reichen, ähnelt dabei stärker derjenigen der Belastungsklasse (III). Sie ist trotzdem als repräsentativ für beide Klassen zu sehen. Bei Gesamtgehalten um den Median (118 mg/kg) liefert die Gesamtbeziehung zur Klasse (IV) allerdings gerade einmal 1 mg/kg Abweichung für die entsprechenden RV-Gehalte.

Im Unterschied zu den Klassen (III) und (IV) zeigen die Beziehungen der Teilregionen Oberlauf und Unterlauf, Klassen (V) und (VI) bei den Abschnitts- und Anstiegswerten eine deutlichere Differenzierung voneinander. Dabei streuen die Parameterwerte in den Unterklassen (V) etwas geringer, die der Unterklassen (VI) etwa im Bereich wie die der Klassen (III) und (IV). Die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen streuen, relativ betrachtet, für diese beiden Klassenbildungen vergleichbar stark, in der Klasse (V) um ca. 32 – 87 %, in der Klasse (VI) um 24 – 86 %. Auch bei dieser Gliederung nach regionalen Gesichtspunkten kann in den jeweiligen Unterklassenbeziehungen keine Systematik erkannt werden. Hier sei besonders auf die Vergleichskategorien OL zu AL oder NG/A zu GL verwiesen. Die absoluten RV-Gehaltsanteile bezogen auf niedrigem zu höherem (Bezugs-)Gesamtgehalt liegen in der Belastungsklasse (V) zwischen ca. 15 – 20 % (Hauptklasse: 16 %) und 11 – 20 % (Hauptklasse: 16 %), in der Belastungsklasse (VI) zwischen ca. 10 – 12 % (Hauptklasse: 11 %) und 11 – 20 % (Hauptklasse: 15 %). Dabei liefert die regionale Gesamtbeziehung Zschopauaue, bei welcher die berechneten RV-Gehaltsanteile von ca. 12 % (bei PWK As) bis ca. 16 % (bei P90 Region) reichen, beim Gehalts-

medianbezug absolute Abweichungen zur Berechnung nach Klasse (V) von etwa 3 mg/kg, zum Berechnungswert nach Klasse (VI) von gerade mal 1 mg/kg.

**Tabelle 26: Regressionsergebnisse Region Zschopau (Cadmium)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Cadmium	Zscho-ges	100	93	0,8504	0,7231	-0,4591	0,9465
	III-nob-Zscho	60	57	0,8628	0,7445	-0,4700	1,0172
	nob-Zscho-OL	29	27	0,7882	0,6213	-0,5056	0,9385
	nob-Zscho-OL-NG	24	23	0,7110	0,5055	-0,5008	0,8481
	nob-Zscho-OL-GL	5	4	0,9976	0,9952	-0,5084	1,1729
	nob-Zscho-AL	31	28	0,9511	0,9047	-0,4282	1,0193
	nob-Zscho-AL-A	15	14	0,9215	0,8492	-0,4353	1,0881
	nob-Zscho-AL-GL	15	15	0,9304	0,8657	-0,3664	0,8539
	IV-stb-Zscho	40	34	0,8149	0,6641	-0,3981	0,7828
	stb-Zscho-OL	15	15				
	stb-Zscho-OL-NG	12	11	0,6799	0,4623	-0,3549	0,6586
	stb-Zscho-OL-GL	3	3				
	stb-Zscho-AL	25	22	0,8797	0,7739	-0,4443	0,9189
	stb-Zscho-AL-A	10	10	0,8272	0,6842	-0,4403	0,8357
	stb-Zscho-AL-GL	15	13	0,9135	0,8345	-0,5094	1,1236
	V_ob-Zscho	30	29	0,8931	0,7976	-0,4891	1,0724
	ob-Zscho-OL	15	15	0,8459	0,7156	-0,4723	1,0135
	ob-Zscho-OL-NG	11	11	0,8520	0,7260	-0,4377	0,9527
	ob-Zscho-OL-GL	4	4				
	ob-Zscho-AL	15	13	0,9792	0,9588	-0,5553	1,3351
	ob-Zscho-AL-A	5	5	0,9705	0,9418	-0,5383	0,9200
	ob-Zscho-AL-GL	9	9	0,9525	0,9072	-0,5860	1,4359
	V_unt-Zscho	70	67	0,7883	0,6215	-0,4490	0,8554
	unt-Zscho-OL	29	26	0,7408	0,5488	-0,5097	0,7928
	unt-Zscho-OL-NG	25	24	0,7357	0,5413	-0,5088	0,8558
	unt-Zscho-OL-GL	4	3				
	unt-Zscho-AL	41	38	0,9089	0,8261	-0,3956	0,8602
	unt-Zscho-AL-A	20	18	0,9379	0,8796	-0,4033	0,9585
	unt-Zscho-AL-GL	21	20	0,8863	0,7855	-0,3879	0,8063

Beim Vergleich der Regressionsbeziehungen für Cadmium nach den Parametern Abschnitt und Anstieg zeigt sich die Situation folgendermaßen:

Weder die Belastungsklassen (III) und (IV), noch die Belastungsklassen (V) und (VI) unterscheiden sich signifikant voneinander. Am ehesten deutet sich auch hier eine gewisse Differenzierung zwischen den Klassen (V) und (VI) an. In den jeweiligen Unterklassen streuen die Werte für den Anstieg der Regressionsfunktionen in einem ähnlichen Bereich wie beim Arsen. Das Spektrum der Abschnitte ist hier jedoch deutlich enger.

In Abhängigkeit vom zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich, hier von 1 mg/kg (= VW) über den Gehaltsmedian der Gesamtregion 1,4 mg/kg bis 3,0 mg/kg (= P90 Region), streuen die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen etwas geringer als beim Arsen, relativ betrachtet, in der Klasse (III) um ca. 36 – 51 %, in der Klasse (IV) um 17 – 42 %. Interpretierbare signifikante Unterschiede zwischen den Unterklassenbeziehungen können nicht erkannt werden. Die absoluten RV-Gehaltsanteile folgen in den Klassen (III) und (IV) vom niedrigen zum höheren

(Bezugs-)Gesamtgehalt leicht verschiedenem Trend: in der Belastungsklasse (III) annähernd gleich bleibend von ca. 31 – 43 % (Hauptklasse: 34 %) auf 27 – 40 % (Hauptklasse: 35 %), in der Belastungsklasse (IV) abnehmend von ca. 31 – 44 % (Hauptklasse: 40 %) auf 30 – 35 % (Hauptklasse: 31 %). Die regionale Gesamtbeziehung Zschopauaue, bei welcher die berechneten RV-Gehaltsanteile von ca. 35 % (bei VW) auf ca. 33 % (bei P90 Region) abnehmen, nimmt eine vermittelnde Stellung zwischen den Belastungsklassen (III) und (IV) ein. Sie kann damit als repräsentativ für beide Klassen genutzt werden. Bei Gesamtgehalten um den Median (1,4 mg/kg) liefert die Gesamtbeziehung zu den Beziehungen der Klasse (III) und (IV) vernachlässigbare, weil analytisch im entsprechenden Wertenniveau kaum sicher abbildbare Abweichungen von 0,01 bzw. 0,04 mg/kg.

Bei den Belastungsklassen (V) und (VI) streuen die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen, relativ betrachtet, in der Klasse (V) um ca. 14 – 29 %, in der Klasse (VI) um 32 – 53 %. Interpretierbare signifikante Unterschiede können auch bei dieser Gliederung nach regionalen Gesichtspunkten in den jeweiligen Unterklassenbeziehungen nicht erkannt werden. Die absoluten RV-Gehaltsanteile, bezogen auf niedrigem zu höherem (Bezugs-)Gesamtgehalt, nehmen in der Belastungsklasse (V) im Trend zu von ca. 28 – 36 % (Hauptklasse: 32 %) auf 34 – 40 % (Hauptklasse: 35 %), in der Belastungsklasse (VI) im Trend ab von ca. 31 – 41 % (Hauptklasse: 36 %) auf 25 – 38 % (Hauptklasse: 30 %). Dabei ähnelt die regionale Gesamtbeziehung Zschopauaue, bei welcher die berechneten RV-Gehaltsanteile von ca. 35 % (bei VW) auf ca. 33 % (bei P90 Region) abnehmen, der Beziehung für die Klasse (VI). Um Differenzierungen zwischen den Klassen (V) und (VI) und beim niedrigen Gehaltsniveau überhaupt erkennbar zu machen, müssten also die Beziehungen der Belastungsklassen genutzt werden. Da jedoch die absoluten Abweichungen zu einer Anwendung der Gesamtbeziehung nicht signifikant ausfallen, kann diese generalisierend für die Cd-Beziehung der Zschopauaue stehen.

Für die Regressionsbeziehungen beim Blei zeigt sich folgende Situation:

In den Belastungsklassen (III) und (IV) streuen für die Unterklassen die Regressionsparameter Abschnitt und Anstieg in einem relativ großen Bereich. Dabei lässt sich speziell in den Beziehungen der Klasse (III) eine deutliche Unterscheidung OL- zu AL-Beziehungen postulieren. Für die OL-Klassen liegen die Abschnittswerte zwischen -0,57 und -0,65, die Anstiegswerte zwischen 0,91 und 0,95. Bei den AL-Klassen liegen die Abschnittswerte zwischen -1,35 und -1,59, die Anstiegswerte zwischen 1,30 und 1,40. Für die Belastungsklasse (IV) lässt sich bei einem vergleichbaren Schwankungsbereich der Parameter eine solche eindeutige Trennung nicht erkennen. In Abhängigkeit vom zugrunde gelegten Gesamtgehaltsbereich, hier von 70 mg/kg (= VW Pb) über den Gehaltsmedian der Gesamtregion von 142 mg/kg bis 255 mg/kg (= P90 Region), schwanken die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen und, relativ betrachtet, in der Klasse (III) um ca. 17 – 48 %, bei Unterscheidung in (III), OL ca. 1 – 4 % bzw. in (III), AL ca. 2 – 11 %. In der Klasse (IV) beträgt die Streuung ca. 19 – 61 %. Die absoluten RV-Gehaltsanteile besitzen in beiden Klassen vom niedrigen zum höheren (Bezugs-)Gesamtgehalt ein annähernd gleich bleibendes Niveau: in der Belastungsklasse (III) von ca. 14 – 18 %, davon OL ca. 17 – 18 % und AL

ca. 14 – 16 % (Hauptklasse: 17 %) auf 16 – 24 %, davon OL ca. 16 % und AL ca. 23 - 24 % (Hauptklasse: 19 %), in der Belastungsklasse (IV) von ca. 16 – 21 % (Hauptklasse: 19 %) auf 15 – 24 % (Hauptklasse: 17 %). Die regionale Gesamtbeziehung Zschopauaue ergibt über den gesamten (Bezugs-)Gesamtgehaltsbereich RV-Gehaltsanteile von ca. 18 %. Das heißt, gleich welche Unterbeziehung im Vergleich gesehen wird, die Abweichung wird hier nicht größer als 6 % absoluter Gehaltsanteil (bei P90 = 255 mg/kg in III-AL-GL). Dem entsprechen berechnete RV-Gehalte von 60,6 mg/kg und nach Gesamtgebietsbeziehung von 44,8 mg/kg.

**Tabelle 27: Regressionsergebnisse Region Zschopauaue (Blei)**

Element	Merkmal/ -kombination	analysierte Datensätze	Wertepaare für Regression	Korrelations- koeffizient R	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Abschnitt	Anstieg
Blei	<b>Zscho-ges</b>	100	95	0,8882	0,7889	-0,7200	0,9855
	<b>III-nob-Zscho</b>	60	56	0,8874	0,7875	-0,8430	1,0461
	nob-Zscho-OL	29	28	0,9060	0,8208	-0,5744	0,9090
	nob-Zscho-OL-NG	24	24	0,9187	0,8440	-0,6577	0,9450
	nob-Zscho-OL-GL	5	5				
	nob-Zscho-AL	31	29	0,8534	0,7283	-1,3939	1,3190
	nob-Zscho-AL-A	15	13	0,9553	0,9125	-1,3520	1,2992
	nob-Zscho-AL-GL	15	14	0,8104	0,6567	-1,5908	1,4018
	<b>IV-stb-Zscho</b>	40	39	0,8673	0,7522	-0,5924	0,9271
	stb-Zscho-OL	15	14	0,7973	0,6357	-0,5446	0,9063
	stb-Zscho-OL-NG	12	12	0,8172	0,6678	-0,7342	0,9796
	stb-Zscho-OL-GL	3	3				
	stb-Zscho-AL	25	25	0,8881	0,7886	-0,6222	0,9411
	stb-Zscho-AL-A	10	10	0,9320	0,8687	-0,2343	0,7551
	stb-Zscho-AL-GL	15	14	0,9577	0,9173	-1,4152	1,3318
	<b>V_ob-Zscho</b>	30	26	0,7719	0,5958	-0,5310	0,8950
	ob-Zscho-OL	15	13	0,7661	0,5868	-0,3736	0,8060
	ob-Zscho-OL-NG	11	11	0,7238	0,5239	-0,3600	0,7989
	ob-Zscho-OL-GL	4	4				
	ob-Zscho-AL	15	15	0,7971	0,6354	-1,2032	1,2226
	ob-Zscho-AL-A	5	5				
	ob-Zscho-AL-GL	9	9	0,9005	0,8110	-2,9357	2,0346
	<b>V_unt-Zscho</b>	70	67	0,9213	0,8489	-0,7282	0,9908
	unt-Zscho-OL	29	29	0,9310	0,8668	-0,6582	0,9589
	unt-Zscho-OL-NG	25	25	0,9421	0,8876	-0,7440	0,9918
	unt-Zscho-OL-GL	4	4				
	unt-Zscho-AL	41	38	0,9101	0,8283	-0,8444	1,0445
unt-Zscho-AL-A	20	18	0,9308	0,8663	-0,7441	0,9947	
unt-Zscho-AL-GL	21	20	0,8905	0,7930	-1,0130	1,1267	

Verglichen mit den Klassen (III) und (IV) zeigen die Beziehungen der Teilregionen Oberlauf und Unterlauf, Klassen (V) und (VI) bei den Abschnitts- und Anstiegswerten kein grundsätzlich anderes Verhalten. Für die Klasse (V) könnte eine ähnliche Differenzierung zwischen OL und AL vermutet werden, lässt sich jedoch mangels mehrerer sicherer Unterklassenbeziehungen für AL nicht untermauern. Die berechneten RV-Gehalte zwischen den spezifischen Unterklassen streuen, relativ betrachtet, in der Klasse (V) um ca. 15 – 50 %, in der Klasse (VI) recht gering mit ca. 5 – 14 %. Die absoluten RV-Gehaltsanteile, bezogen auf niedrigem zu höherem (Bezugs-)Gesamtgehalt, liegen in der Belastungsklasse (V) im Trend leicht sinkend, zwischen ca. 16 – 19 % (Hauptklasse: 19 %) und 14 – 22 % (Hauptklasse: 16 %), in der Belastungsklasse (VI) annähernd gleich bleibend, zwischen ca. 17 – 18 % (Hauptklasse: 18 %) und 17 – 20 % (Hauptklasse: 18 %). Da die regionale

Gesamtbeziehung Zschopauaue praktisch gleich bleibende RV-Gehaltsanteile von 18 % liefert, ist deren Anwendung auch hier repräsentativ für die beiden Belastungsklassenbereiche gerechtfertigt.

Zusammengefasst lässt sich für die Region der Zschopauaue feststellen:

Die Untersuchungssituation stellt sich hinsichtlich der vorhandenen verwendbaren Wertepaarumfänge günstig dar. Es konnten für alle Elemente alle vier ausgehaltenen Hauptklassen und eine große Zahl der gebildeten Unterklassen untersucht werden. Im Bezug auf Arsen erscheint die gewählte Klassenuntergliederung Oberlauf (V) vs. Unterlauf (VI) zweckmäßiger, was mit dem aushaltend hohen Belastungslevel im Oberlauf der Zschopau in Zusammenhang stehen dürfte. Für eine Ermittlung der absoluten RV-Gehaltsanteile kann jedoch, wegen nur geringer Werteabweichung zu den Belastungsklassen-/Unterklassenbeziehungen, die Gesamtgebietsbeziehung genutzt werden. Beim Cadmium konnten keine signifikanten Differenzierungen zwischen den Belastungsklassen und ihren spezifischen Regressionsbeziehungen ermittelt werden, welche gegen eine Nutzung der Gesamtgebietsbeziehung zur Ermittlung der absoluten RV-Gehaltsanteile sprechen. Beim Blei ist die Differenzierung in OL-/AL-Unterklassen in der Belastungsklasse (III) auffällig. Eine ähnliche Differenzierung deutet sich in der Klasse (V) an, lässt sich jedoch nicht sicher belegen. Ausgehend vom allgemeinen Belastungsniveau für Blei in der Region und den im Vergleich mit der Regressionsbeziehung des Gesamtgebietes zu den verschiedenen Belastungsklassen bzw. jeweiligen Unterklassen ergebenden RV-Gehaltsanteilsunterschieden, ist eine allgemeine Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung vertretbar.

#### **4.3 Vergleich zwischen den Regionen**

Unter Berücksichtigung der im Punkt 4.2 zu den spezifischen Regionen und Unterklassen verglichenen Regressionskenngrößen, lässt sich der Vergleich zwischen den Regionen selbst am besten einzelelementbezogen, im wesentlichen an Hand der Hauptklassen „Gesamtregion“ (1. Gliederungsebene) sowie „Belastungsklasse“ (2. Gliederungsebene) führen. Wie die Ausführungen im Punkt 4.2 darüber hinaus deutlich machen, finden sich nur in wenigen Ausnahmefällen sachliche Argumente, welche für eine weitere Differenzierung von Regressionsbeziehungen noch in der 3. Gliederungsebene (Unterklassen Ortslage, OL und Außenlage, AL) bzw. 4. Gliederungsebene (Nutzgarten/Acker, NG/A oder Grünland, GL) sprechen. Mangels vergleichbarer Fälle mit sicheren Regressionsbeziehungen in mehreren Regionen sind diese Beziehungen für einen überregionalen Vergleich nicht geeignet. Zur besseren Übersicht über die einzelelementspezifischen Regressionsbeziehungen aller Klassen und über die einzelnen Regionen gleichzeitig, wurden entsprechende Punkt-Diagramme mit Darstellungen der Abschnitt-Anstieg-Paare (logarithmierte Werte) erzeugt und in den Anlagen 9 bis 11 jeweils für ein Element zusammengefasst.

Wie die Ausführungen im Punkt 4.2 weiter verdeutlichen, ist eine Ergebnisdiskussion auf Basis der logarithmischen Abschnitt-Anstieg-Wertebeziehungen bzw. logarithmischen Regressionsfunktionen allein kaum zielführend, weil mit menschlichen Relationsverständnis nur schwer zu fassen. Aus diesem Grund wurden für die ermittelten Regressionsfunktionen die entsprechenden Umkehrfunktio-

onen erzeugt und für eine Realwertbestimmung genutzt. Um für den folgenden Vergleich der Regressionsbeziehungen zwischen den Regionen auch den realen Wertehintergrund der Gehaltsangaben beurteilen zu können, sind mit der Tabelle 28 (Arsen), Tabelle 29 (Cadmium) und Tabelle 30 (Blei), unter Bezug auf entsprechende Referenzwerte gemäß Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung, Anhang II, Pfad Boden-Mensch, die regionsspezifischen Medianwerte und im Fall von Arsen des regionsspezifischen Mittelwertes der Gesamtgehalte entsprechende Übersichten geschaffen worden. Sie zeigen für alle Regressionsbeziehungen (bzw. deren jeweilige Regressionsparameter Abschnitt und Anstieg) der Gesamtregionen und zugehörigen Hauptbelastungsklassen sowie für angenommene Gesamtgehalte die zugehörigen absoluten resorptionsverfügbaren Gehaltsanteile in mg/kg TS bzw. in % und eine schematische Anteilsklassenzuordnung zur Trendbeschreibung.

Weiterhin sind in der Abbildung 13 für Arsen, in der Abbildung 14 für Cadmium und in der Abbildung 15 für Blei die Graphen der Realwertefunktionen (Umkehrfunktionen der logarithmischen Regressionsfunktionen) aller regionsspezifischen Gesamtbeziehungen nebeneinander dargestellt.

*- Arsen:*

Unter Punkt 4.2 konnte für alle sechs untersuchten Regionen die Sinnfälligkeit einer Anwendung der jeweiligen Gesamtgebiets-Regressionsbeziehung als kennzeichnend für das Verhältnis Arsen-Gesamtgehalt im Oberboden zu RV-Gehaltsanteil hergeleitet und begründet werden. Auch wenn, speziell zwischen den jeweiligen Hauptklassenbeziehungen (vgl. die Punkt-Diagramm-Übersichten in Anlage 9), teilweise deutlichere Differenzierungen erkennbar sind, ergab die Rückführung auf den Realwertebezug in allen Fällen nur noch geringe absolute Wertedifferenzen, welche eine Getrennthaltung der entsprechenden Beziehungen nicht mehr rechtfertigt.

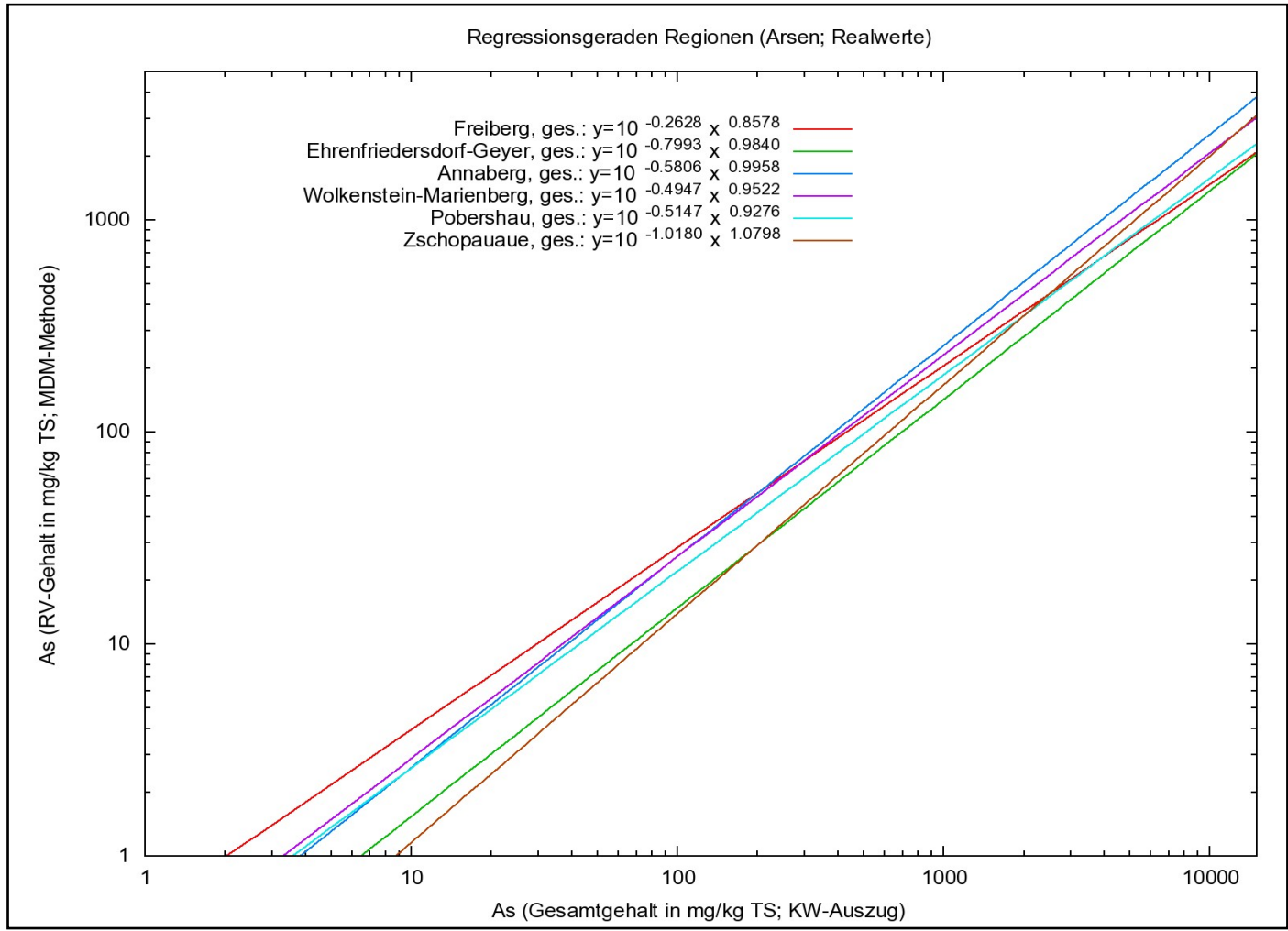


Abbildung 13: Regressionsgeraden der Regionen für Arsen (Realwerte)

Tabelle 28: Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Arsen)

	Regressionsfunktion		PWK	RV-Gehalt bei PWK	RV-Anteil bei PWK	Anteil %-Klasse	Median Gehalt (KW)	RV-Gehalt bei Median	RV-Anteil bei Median	Anteil %-Klasse	Mittelw. Gehalt (KW)	RV-Gehalt bei Mittelw.	RV-Anteil bei Mittelw.	Anteil %-Klasse
	Abschnitt (lg)	Anstieg (lg)												
			[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	
<b>FG-ges</b>	-0,2628	0,8578	25	9	35	4	140	38	27	3	306	74	24	3
<b>Edf-ges</b>	-0,7993	0,9840	25	4	15	2	261	38	15	2	617	88	14	2
<b>Ana-ges</b>	-0,5806	0,9958	25	6	26	3	68	18	26	3	106	27	26	3
<b>Wst-Mab-ges</b>	-0,4947	0,9522	25	7	27	3	58	15	26	3	74	19	26	3
<b>Pob-ges</b>	-0,5147	0,9276	25	6	24	3	68	15	23	3	122	26	22	3
<b>Zsch-ges</b>	-1,0180	1,0798	25	3	12	2	118	17	14	2	191	28	15	2
<b>FG-I</b>	-0,2361	0,8680	25	9	38	4	140	42	30	4	306	83	27	3
<b>Edf-I</b>	-1,2530	1,1415	25	2	9	1	261	32	12	2	617	86	14	2
<b>FG-II</b>	-0,3394	0,8843	25	8	32	4	140	36	26	3	306	72	24	3
<b>Edf-II</b>	-0,3684	0,7834	25	5	21	3	261	33	13	2	617	66	11	2
<b>Ana-II</b>	-0,9567	1,1966	25	5	21	3	68	17	25	3	106	29	28	3
<b>Wst-Mab-II</b>	-0,5704	0,9837	25	6	26	3	58	15	25	3	74	19	25	3
<b>Pob-II</b>	-0,6480	0,9696	25	5	20	3	68	13	20	3	122	24	19	2
<b>FG-III</b>	-0,2609	0,8504	25	8	34	4	140	37	26	3	306	71	23	3
<b>Edf-III</b>	-0,1997	0,7468	25	7	28	3	261	40	15	2	617	77	12	2
<b>Ana-III</b>	-0,4852	0,9334	25	7	26	3	68	17	25	3	106	25	24	3
<b>Wst-Mab-III</b>	-0,4011	0,9146	25	8	30	4	58	16	28	3	74	20	27	3
<b>Pob-III</b>	-0,5704	1,0083	25	7	28	3	68	19	28	3	122	34	28	3
<b>Zsch-III</b>	-1,1586	1,1546	25	3	11	2	118	17	15	2	191	30	16	2
<b>FG-IV</b>	-0,1917	0,8223	25	9	36	4	140	37	27	3	306	71	23	3
<b>Edf-IV</b>	-0,6024	0,9336	25	5	20	3	261	45	17	2	617	101	16	2
<b>Zsch-IV</b>	-0,9346	1,0360	25	3	13	2	118	16	14	2	191	27	14	2
<b>Zsch-O</b>	-0,7767	0,9952	25	4	16	2	118	19	16	2	191	31	16	2
<b>Zsch-U</b>	-1,0860	1,1028	25	3	11	2	118	16	13	2	191	27	14	2

Hinweise zur Tabelle / farbliche Kennzeichnung:

- Hauptbeziehungen der Regionen
- Werte für Bezugs-gesamtgehalt "Median der Region" im Vergleich
- Farbe bei "Anteil, %-Klasse" zur qualitativen Beurteilung: niedrig = hellgelb, gelb, orange, rot = hoch



Beim direkten Vergleich der Graphen der Realfunktionen zu den Gesamtgebietsbeziehungen (Abbildung 13) wird zunächst deutlich, dass bis zu einem Gesamtgehaltsniveau von etwa 25 mg/kg der bodenschutzseitig wichtigen Prüfwertschwelle „Kinderspielfläche“ (= PWK) die entsprechenden RV-Gehaltsanteile ohnehin durchweg noch unterhalb des Niveaus der analytischen BG liegen. Nahe beieinander gelegene bzw. sich stark ähnelnde Funktionsverläufe bestehen etwa bis zu einem Gesamtgehaltsniveau von 300 mg/kg. Oberhalb dieses Gesamtgehaltsbereiches nähern, scharfen und kreuzen sich die Graphen der verschiedenen Beziehungen durch das differenzierte Anstiegsverhalten eher ungeordnet. Unter Beachtung der logarithmierten Skalen in der Abbildung 13 liegen die maximalen Unterschiede etwa bis 200 mg/kg Gesamtgehalt zwischen den Beziehungen Freiberg und Zschopauaue (RV-Gehalt bei Gesamtgehalt 25 mg/kg: FG = 8,6 mg/kg und Zschopauaue = 3,1 mg/kg; bei 200 mg/kg: FG = 51,4 mg/kg und Zschopauaue = 29,3 mg/kg). Oberhalb ca. 200 mg/kg Gesamtgehalt bis zu einem Extremwertniveau von 14.000 mg/kg (als Wertenniveau nur für Region Ehrenfriedersdorf/Geyer, Belastungsklasse 1 belegt) bilden die Beziehungen für Annaberg und Ehrenfriedersdorf den Maximalunterschied ab (z.B. RV-Gehalt bei Gesamtgehalt 1.000 mg/kg: Annaberg = 255 mg/kg und Ehrenfriedersdorf - Geyer = 142 mg/kg).

Bezogen auf den im bodenschutzrechtlichen Vollzug wichtigen Gesamtgehaltsbereich von 25 mg/kg bis ca. 500 mg/kg gleichen sich auffallend die Beziehungen zu Annaberg und Wolkenstein/Marienberg, beide im mittleren Bereich der Resorptionsverfügbarkeitsspanne (um 25 % der Gesamtgehalte). Die Erklärung wird in der metallogenetisch-paragenetischen Ähnlichkeit der Regionen gesehen. Des Weiteren gleichen sich die Beziehungen für Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopauaue. Hierfür wird als maßgebliche Ursache die Arsen-Anomalie im Raum Ehrenfriedersdorf/Geyer angenommen, welche die Belastungssituation der Zschopauaue in einem großen Oberlaufabschnitt über die Vorfluter Geyerbach, Greifenbach und Wilisch prägt. Bezüglich der Resorptionsverfügbarkeit liegen diese Regionen im unteren Teil der Vergleichsspanne (um 15 % der Gesamtgehalte). Die Beziehung der Region Pobershau nimmt eine Zwischenstellung ein, welche durch die paragenetische Ähnlichkeit zur Region Ehrenfriedersdorf/Geyer bedingt sein könnte. Die Arsen-Beziehung der Region Freiberg besitzt mit einer durchgehenden Resorptionsverfügbarkeit im obersten Teil der Vergleichsspanne (um 35 - 25 % der Gesamtgehalte) eine Sonderstellung.

*- Cadmium:*

Im Vergleich zum Arsen findet sich für Cadmium allein in den Oberböden der Region Freiberg ein deutlich erhöhter Gesamtgehaltslevel (VW = 1 mg/kg; Median = 3,45 mg/kg). Von einem leicht erhöhten Gesamtgehaltsniveau lässt sich in den Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopauaue sprechen (Medianwerte bei 1,2 bzw. 1,4 mg/kg). In den Regionen Annaberg, Wolkenstein/Marienberg und Pobershau liegen die Gesamtgehaltsmediane mit 0,9 bis 0,7 mg/kg unter dem Vorsorgewert. Dies widerspiegelt sich hier auch in der Zahl der Analysenwerte < BG, welche für die Primärdatenstatistik, pauschal auf halbe BG gesetzt, berücksichtigt wurden, allerdings für die Regressionsuntersuchung keine Verwendung gefunden haben. So konnten Regressionsbeziehungen (vgl. 4.2 und Tabelle 9) für Unterklassen der 3. und 4. Gliederungsebene nur stark einge-

schränkt und dann meist nur als unsichere Beziehungen (Wertepaar-Stichprobenumfänge < 10) ermittelt werden.

Für die Region Pobershau konnten überhaupt keine Regressionsbeziehungen, für die Region Wolkenstein/Marienberg nur eine unsichere Gesamtgebietsbeziehung mit sehr unplausiblen anteiligen Resorptionsverfügbarkeiten hergeleitet werden. Letztere wird deshalb im regionalen Vergleich auch nicht berücksichtigt. Hilfsweise können hier die Gesamtgehalts-(RV-Gehalts)Beziehungen der jeweils maximalen Analysenwerte genutzt werden (Wolkenstein/Marienberg: ca. 32 % RV-Anteil; Pobershau: ca. 42 % RV-Anteil). Für die vier weiteren Regionen wurde mit den Detailuntersuchungen gemäß Punkt 4.2 jeweils die regionale Gesamtgebietsbeziehung als repräsentativ für das Verhältnis Cadmium-Gesamtgehalt im Oberboden zu RV-Gehalt hergeleitet und begründet. Auch im Fall von Cadmium konnten nach Abschnitt und Anstieg noch deutlich zu differenzierende Beziehungen, hier praktisch ausschließlich der Hauptbelastungsklassen, nach Rückführung auf den Realwertebezug als nicht mehr signifikant verschieden bezeichnet werden, was gegen eine regionsinterne Getrennthaltung der entsprechenden Beziehungen spricht.

Der Methodik des regionalen Vergleichs der Gesamtgebietsbeziehungen beim Arsen folgend, zeigt sich zunächst für die Graphen der Realfunktionen der vier sicheren Gesamtgebietsbeziehungen für Cadmium (Abbildung 14), dass bis zu einem Gesamtgehaltsniveau von 2 mg/kg (= doppelter Vorsorgewert bzw. verschärfter Prüfwert bei kombinierter Nutzung von Kinderspielflächen mit Wohngebieten bzw. mit Kleingärten gemäß BbodSchV, Anhang 2) die entsprechenden RV-Gehalte durchweg noch unterhalb des Niveaus der analytischen BG (= 1 mg/kg) liegen. Für diesen untersten Gesamtgehaltsbereich besteht damit im Regelfall nur die Möglichkeit, einen wahrscheinlichen „genauen“ RV-Gehaltsanteil nach der Regressionsfunktion zu berechnen. Hier stellt sich jedoch ohnehin die Frage: Was ist (un-)genauer - der berechnete Wert nach einer statistisch hergeleiteten Regressionsfunktion oder der analytisch ermittelte Wert kleiner verfahrensabhängiger Bestimmungsgrenze?

Was beim Vergleich der regionalen Gebietsbeziehungen für Cadmium besonders auffällt, ist die sehr große Ähnlichkeit bzw. fast Deckungsgleichheit der Funktionsgraphen zum einen der Regionen Freiberg und Annaberg, zum anderen der Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopau. Die Aussage gilt dabei für einen Gesamtgehaltsbereich, der auch die real analytisch festgestellten, sehr hohen Cadmium-Belastungen im Freiburger Raum (hoher zweistelliger mg/kg-Bereich) mit umfasst.

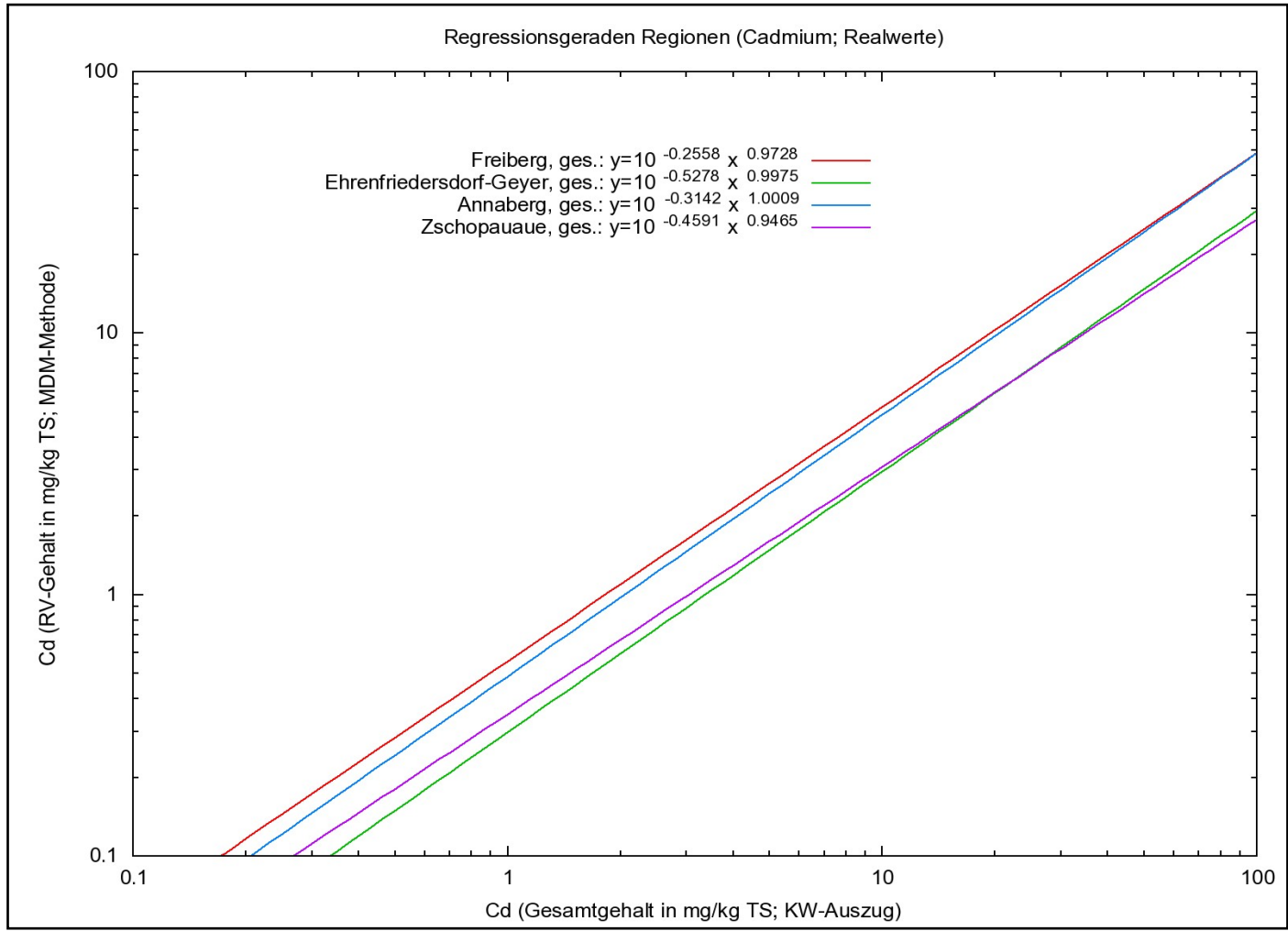


Abbildung 14: Regressionsgeraden der Regionen für Cadmium (Realwerte)

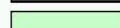
Tabelle 29: Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Cadmium)

	Regressionsfunktion		Vorsorge- wert (VW)	RV- Gehalt bei VW	RV- Anteil bei VW	Anteil %-Klasse	Median Gehalt (KW)	RV- Gehalt bei Median	RV- Anteil bei Median	Anteil %-Klasse	PWK	RV- Gehalt bei PWK	RV- Anteil bei PWK	Anteil %-Klasse
	Abschnitt (lg)	Anstieg (lg)												
			[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	
FG-ges	-0,2558	0,9721	1	0,6	55	4	3,5	1,9	54	4	10	5,2	52	4
Edf-ges	-0,5278	0,9975	1	0,3	30	2	1,2	0,4	30	2	10	2,9	29	1
Ana-ges	-0,3142	1,0009	1	0,5	49	3	0,9	0,4	49	3	10	4,9	49	3
Wst-Mab-ges	-0,0506	0,5488	1	0,9	89	5	0,9	0,8	93	5	10	3,1	31	2
Pob-ges														
Zsch-ges	-0,4591	0,9465	1	0,3	35	2	1,4	0,5	34	2	10	3,1	31	2
FG-I	-0,2905	1,0148	1	0,5	51	4	3,5	1,8	52	4	10	5,3	53	4
Edf-I	-0,5673	1,0649	1	0,3	27	1	1,2	0,3	27	1	10	3,1	31	2
FG-II	-0,2518	0,9911	1	0,6	56	4	3,5	1,9	55	4	10	5,5	55	4
Edf-II	-0,5111	0,8058	1	0,3	31	2	1,4	0,4	29	1	10	2,0	20	1
Ana-II	-0,3352	1,1817	1	0,5	46	3	0,9	0,4	45	3	10	7,0	70	5
FG-III	-0,2231	0,9529	1	0,6	60	5	3,5	2,0	56	4	10	5,4	54	4
Edf-III	-0,2478	0,8582	1	0,6	57	4	1,2	0,7	55	4	10	4,1	41	3
Ana-III	-0,3121	0,9334	1	0,5	49	3	0,9	0,4	49	3	10	4,2	42	3
Zsch-III	-0,4700	1,0172	1	0,3	34	2	1,4	0,5	34	2	10	3,5	35	2
FG-IV	-0,2263	0,9241	1	0,6	59	4	3,5	1,9	54	4	10	5,0	50	4
Edf-IV	-0,5771	1,0551	1	0,3	26	1	1,2	0,3	27	1	10	3,0	30	2
Zsch-IV	-0,3981	0,7828	1	0,4	40	3	1,4	0,5	37	2	10	2,4	24	1
Zsch-O	-0,4891	1,0724	1	0,3	32	2	1,4	0,5	33	2	10	3,8	38	2
Zsch-U	-0,4490	0,8554	1	0,4	36	2	1,4	0,5	34	2	10	2,5	25	1

**Hinweise zur Tabelle / farbliche Kennzeichnung:**



Hauptbeziehungen der Regionen



Werte für Bezugsgesamtgehalt "Median der Region" im Vergleich

Farbe bei "Anteil, %-Klasse" zur qualitativen Beurteilung: niedrig = hellgelb, gelb, orange, rot = hoch

Unter Beachtung der logarithmierten Skalen in der Abbildung 14 unterscheiden sich die nach den regionsspezifischen Beziehungen für Freiberg (FG) und Annaberg (ANA) ermittelten absoluten RV-Gehalte wie folgt: beim Gesamtgehalt von 1 mg/kg (= VW): FG = 0,55 mg/kg vs. ANA = 0,49 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 2 mg/kg (PWK, kombinierte Nutzung): FG = 1,1 mg/kg vs. ANA = 1,0 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 10 mg/kg (PWK): FG = 5,2 mg/kg vs. ANA = 4,9 mg/kg. Die berechneten RV-Anteile am jeweiligen Gesamtgehalt in beiden Regionen betragen somit näherungsweise 50 %. Dabei unterscheiden sich beide Regionen deutlich im Belastungslevel (P90-Wert Gesamtgehalte FG = 16 mg/kg, ANA = 1,9 mg/kg). Eine wahrscheinliche Ursache für das stark ähnelnde RV-Verhalten wird in den metallogenetisch-paragenetisch bedingten Ähnlichkeiten der beiden Regionen und damit der auftretenden Cd-Verbindungen/-Konfigurationen im Oberboden vermutet.

Bei dem zweiten, im Hinblick auf die Ähnlichkeit der gefundenen Gesamtgebietsbeziehungen zu definierenden Regionen-Paar, Ehrenfriedersdorf/Geyer (Edf-Gey) und der Zschopauaue (Zscho), verhalten sich die absoluten RV-Gehalte zu den jeweiligen Gesamtgehalten wie folgt: beim Gesamtgehalt von 1 mg/kg (= VW): Edf-Gey = 0,30 mg/kg vs. Zscho = 0,35 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 2 mg/kg (PWK, kombinierte Nutzung): Edf-Gey = 0,59 mg/kg vs. Zscho = 0,67 mg/kg und bei einem Gesamtgehalt von 10 mg/kg (PWK): Edf-Gey = 2,9 mg/kg vs. Zscho = 3,1 mg/kg. Dabei liegen in beiden Regionen Gesamtgehalte von Cadmium um 10 mg/kg bereits im deutlichen Ausreißer-Bereich. Die berechneten absoluten RV-Anteile in beiden Regionen betragen mit zu vernachlässigender Abweichung ca. 30 % vom jeweiligen Gesamtgehalt und liegen damit deutlich verschieden, unterhalb des Niveaus beim Regionen-Paar Freiberg/Annaberg. Wie bereits oben für Arsen diskutiert, könnte auch hier eine mögliche Ursache für die vergleichbaren Cd-Charakteristiken zwischen Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopauaue im Sedimentaustrag aus der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer über die Vorfluter Geyerbach, Greifenbach und Wilisch und prägenden Eintrag in die Hochflutsedimente der Zschopauaue liegen.

*- Blei:*

Hinsichtlich einer Blei-Prägung der Oberböden nimmt die Region Freiberg eine herausgehobene Position ein. Der Gesamtgehaltsmedian liegt hier mit 425 mg/kg etwa um das 3- bis 4-Fache höher als in den fünf Vergleichsregionen. Für die Regionen Annaberg und Zschopauaue liegt der Gesamtgehaltsmedian bei 140 bzw. 142 mg/kg, für Ehrenfriedersdorf/Geyer und Wolkenstein/Marienberg noch etwas niedriger bei 115 bzw. 110 mg/kg. Der niedrigste Gehaltsmedian findet sich mit ca. 100 mg/kg in der Region Pobershau. Damit liegen alle Medianwerte um das 1,5- bis 6-Fache über dem Vorsorgewert für Blei von 70 mg/kg. Der Anteil von Analysendaten < BG sowohl bei den Gesamtgehalten als auch den RV-Gehalten ist entsprechend klein. Somit war es möglich, vergleichbar beim Arsen, in allen Regionen Regressionsbeziehungen für alle ausgehaltenen Hauptbelastungsklassen und eine große Zahl von Unterklassen aufzustellen. Allerdings gilt auch dabei eine Reihe von Beziehungen wegen Stichprobenumfängen < 10 als unsicher (vgl. 4.2 und Tabelle 9). Im Fall von Pobershau gelten nur die Gesamtgebietsbeziehung und die der Belastungsklasse (II) als sicher. Im Ergebnis der regionsspezifischen Untersuchungen konnten die jewei-

ligen Gesamtgebietsbeziehungen aller sechs Regionen als repräsentativ anwendbar abgeleitet werden.

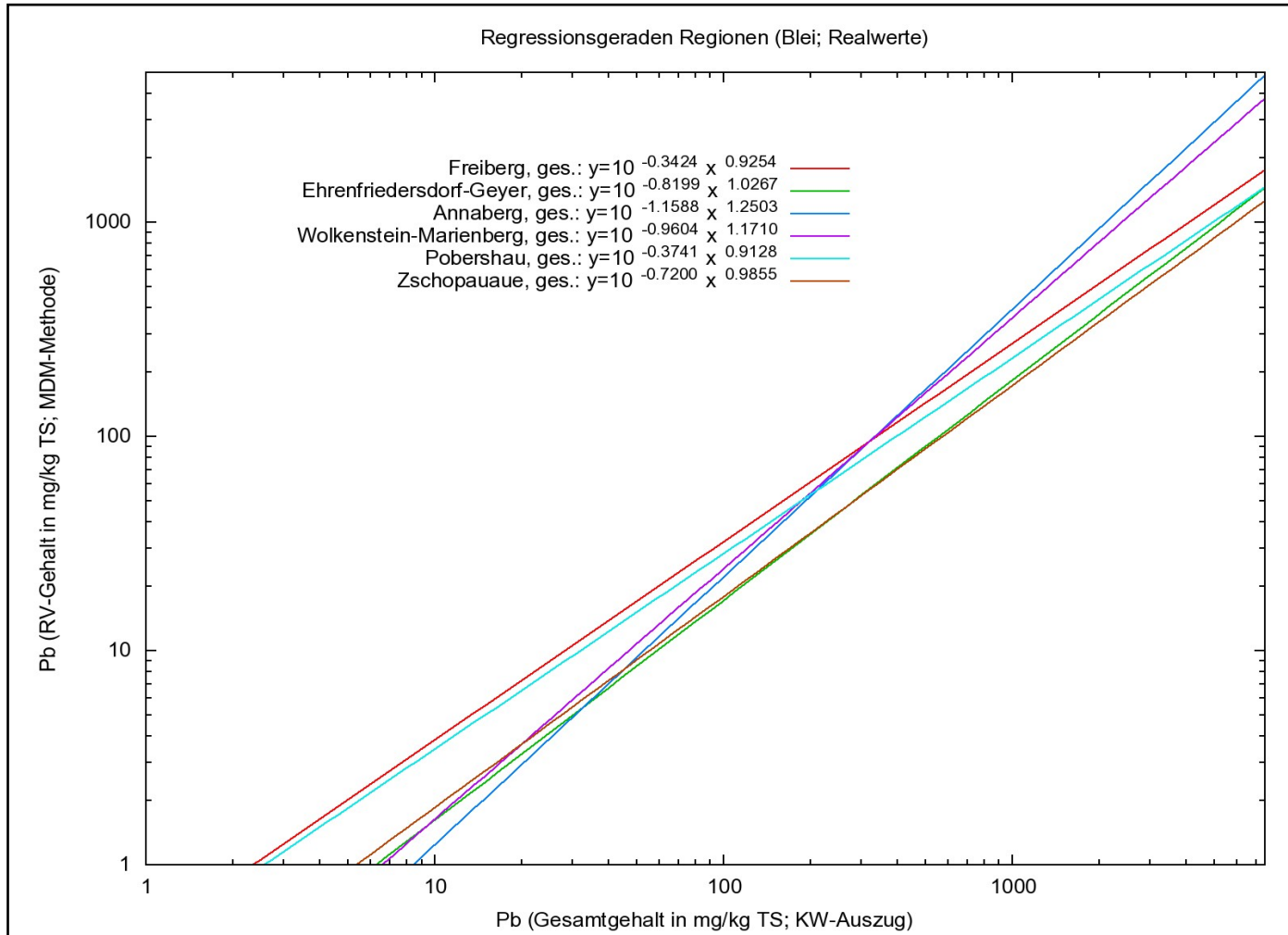


Abbildung 15: Regressionsgeraden der Regionen für Blei (Realwerte)

Tabelle 30: Trendverhalten Regressionsfunktion (Realwerte Blei)

	Regressionsfunktion		Vorsorge- wert (VW)	RV- Gehalt bei VW	RV- Anteil bei VW	Anteil %-Klasse	Median Gehalt (KW)	RV- Gehalt bei Median	RV- Anteil bei Median	Anteil %-Klasse	PWK	RV- Gehalt bei PWK	RV- Anteil bei PWK	Anteil %-Klasse
	Abschnitt (lg)	Anstieg (lg)	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]		[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	
<b>FG-ges</b>	-0,3424	0,9254	70	23	33	3	425	123	29	2	200	61	31	3
<b>Edf-ges</b>	-0,8199	1,0267	70	12	17	1	115	20	17	1	200	35	17	1
<b>Ana-ges</b>	-1,1588	1,2503	70	14	20	2	140	33	24	2	200	52	26	2
<b>Wst-Mab-ges</b>	-0,9604	1,1710	70	16	23	2	110	27	24	2	200	54	27	2
<b>Pob-ges</b>	-0,3741	0,9128	70	20	29	2	100	28	28	2	200	53	27	2
<b>Zsch-ges</b>	-0,7200	0,9855	70	13	18	1	142	25	18	1	200	35	18	1
<b>FG-I</b>	-0,6214	1,0357	70	19	28	2	425	126	30	3	200	58	29	2
<b>Edf-I</b>	-1,0580	1,1250	70	10	15	1	115	18	16	1	200	34	17	1
<b>FG-II</b>	-0,2273	0,8880	70	26	37	3	425	128	30	3	200	65	33	3
<b>Edf-II</b>	-0,7012	0,9533	70	11	16	1	115	18	16	1	200	31	16	1
<b>Ana-II</b>	-1,0932	1,2337	70	15	22	2	140	36	26	2	200	56	28	2
<b>Wst-Mab-II</b>	-0,8783	1,1208	70	15	22	2	110	26	23	2	200	50	25	2
<b>Pob-II</b>	-0,3767	0,9111	70	20	29	2	100	28	28	2	200	52	26	2
<b>FG-III</b>	-0,6395	1,0659	70	21	30	3	425	145	34	3	200	65	33	3
<b>Edf-III</b>	-0,6748	0,9937	70	14	21	2	115	24	21	2	200	41	20	2
<b>Ana-III</b>	-0,9967	1,1602	70	14	20	2	140	31	22	2	200	47	24	2
<b>Wst-Mab-III</b>	-1,0183	1,2089	70	16	23	2	110	28	26	2	200	58	29	2
<b>Pob-III</b>	-0,3338	0,8984	70	21	30	3	100	29	29	2	200	54	27	2
<b>Zsch-III</b>	-0,8430	1,0461	70	12	17	1	142	26	18	1	200	37	18	1
<b>FG-IV</b>	-0,0184	0,7943	70	28	40	4	425	117	28	2	200	64	32	3
<b>Edf-IV</b>	-0,6579	0,9623	70	13	19	1	115	21	18	1	200	36	18	1
<b>Zsch-IV</b>	-0,5924	0,9271	70	13	19	1	142	25	18	1	200	35	17	1
<b>Zsch-O</b>	-0,5310	0,8950	70	13	19	1	142	25	18	1	200	34	17	1
<b>Zsch-U</b>	-0,7282	0,9908	70	13	18	1	142	25	18	1	200	36	18	1

Hinweise zur Tabelle / farbliche Kennzeichnung:

- Hauptbeziehungen der Regionen
  - Werte für Bezugsgesamtgehalt "Median der Region" im Vergleich
  - Wert des Gesamtgehalts-Median größer als oberer Bezugsreferenzwert (hier PWK lt. BBodSchV, Anhang II)
- Farbe bei "Anteil, %-Klasse" zur qualitativen Beurteilung: niedrig = hellgelb, gelb, orange, rot, karmin = hoch



Aus der Betrachtung der Graphen der Realfunktionen der Gesamtgebietsbeziehungen für Blei in der Abbildung 15 lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

Im Unterschied zu Arsen und Cadmium erreichen hier bei den Beziehungen Freiberg und Pobershau bereits bei ca. 40 mg/kg Gesamtgehalt (bei etwa 60 % des Vorsorgewertes für Blei) die berechneten RV-Gehalte das Niveau der zugehörigen analytischen BG. Beim Gesamtgehaltsniveau von 70 mg/kg (= VW Pb) liegen dann die berechneten RV-Gehaltswerte nach allen vier weiteren Regionsbeziehungen auch über den BG-Level.

Noch wesentlich markanter als für die Regionsbeziehungen beim Arsen und gut vergleichbar der Situation beim Cadmium gleichen sich auch für Blei Regressionsbeziehungen von jeweils zwei Regionen auffallend und unterscheiden sich zugleich stärker von den anderen „Paaren“. Ab etwa dem oben genannten Gesamtgehaltslevel von ca. 40 mg/kg und aufwärts bis zu Maximalgehalten um 5.000 mg/kg (Region Freiberg) folgen zum einen die Funktionsgraphen der Regionsbeziehungen zu Annaberg und Wolkenstein/Marienberg und zum anderen Ehrenfriedersdorf/Geyer und der Zschopauaue jeweils einem recht einheitlichen Trend. Dass sich dabei die Graphen der beiden „Paare“ etwa im Gesamtgehaltsbereich 250 bzw. 300 mg/kg kreuzen, ändert diese Feststellung nicht grundlegend. Ebenfalls vergleichbar untereinander im Wertenniveau und Trend zeigen sich die Funktionsgraphen zu den Gesamtgebietsbeziehungen der Regionen Freiberg und Pobershau.

Nach den regionsspezifischen Beziehungen für Annaberg (ANA) und Wolkenstein/Marienberg (Wst-Mab) ergeben sich folgende absoluten RV-Gehalte: beim Gesamtgehalt von 70 mg/kg (= VW): ANA = 14 mg/kg vs. Wst-Mab = 16 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 200 mg/kg (= PWK): ANA = 52 mg/kg vs. Wst-Mab = 54 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 400 mg/kg (= PWW): ANA = 124 mg/kg vs. Wst-Mab = 122 mg/kg. Die berechneten RV-Anteile am jeweiligen Gesamtgehalt liegen eng beieinander und nehmen in beiden Regionen von ca. 20 % auf ca. 30 % kontinuierlich zu. Die große Ähnlichkeit zwischen den beiden Regressionsbeziehungen verwundert dabei nicht. In beiden Regionen finden sich sehr ähnliche metallogenetisch-paragenetisch Verhältnisse und ein vergleichbarer Belastungslevel.

Neben der Situation beim Arsen und Cadmium besteht ganz offensichtlich auch beim Blei für die Gesamtgehalts-(RV-Gehalts)Beziehungen zwischen den Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer (Edf-Gey) und Zschopauaue (Zscho) ein sehr deutlicher Zusammenhang. Nach den beiden Regressionsbeziehungen ermitteln sich dabei folgende absoluten RV-Gehalte: beim Gesamtgehalt von 70 mg/kg (= VW): Edf-Gey = 12 mg/kg vs. Zscho = 13 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 200 mg/kg (= PWK): Edf-Gey = 35 mg/kg vs. Zscho = 35 mg/kg; beim Gesamtgehalt von 400 mg/kg (= PWW): Edf-Gey = 71 mg/kg vs. Zscho = 70 mg/kg. Die berechneten RV-Anteile am jeweiligen Gesamtgehalt liegen ebenfalls sehr eng beieinander mit gleich bleibendem Anteilsniveau in beiden Regionen von ca. 17 - 18 %. Der im Fall der Zschopauaue etwas höhere Blei-Gehaltslevel als in der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer wird auf den Einfluss der Lagerstättenregion Annaberg mit einer stärkeren Blei-Prägung über die Vorflut Sehma zur Zschopau zurückgeführt.

Für die scheinbare Ähnlichkeit der ermittelten Regressionsbeziehungen für die Regionen Freiberg und Pobershau beim Blei gibt es keine plausiblen sachlichen Erklärungen im Regionsvergleich. Insofern wird die Werte- und Trendähnlichkeit als zufällig angesehen. Hier kann insbesondere durch eine zukünftige Verbesserung der Analysendatenbasis für die Regressionsuntersuchung in der Region Pobershau für mehr Klarheit gesorgt werden. Bis auf weiteres sollten die beiden Gebietsbeziehungen deshalb getrennt geführt werden. Die Regressionsbeziehung von Freiberg zeigt dabei von niedrigen zu sehr hohen Gesamtgehalten einen kontinuierlich leichten Rückgang des RV-Gehaltsanteiles von ca. 33 % (bei VW = 70 mg/kg) auf ca. 27 % (bei 1.000 mg/kg). Für Pobershau gilt, in einem deutlich engeren Gesamtgehaltsspektrum für Blei als in der Region Freiberg, ein etwas schnellerer Rückgang der RV-Gehaltsanteile von ca. 29 % (bei VW = 70 mg/kg) auf 27 % bereits bei 200 mg/kg (= PWK und = P90 Region).

## **5 Empfehlungen für eine Ergebnisnutzung in der Praxis**

Vorbehaltlich einer gegebenenfalls zukünftig noch möglichen, deutlichen Verbesserung der Analysendaten-Basis, was zum einen über neue Beprobungen, zum anderen über eine Wiederholungsanalytik mit Restprobenmaterial vorhandener Proben bei deutlich abgesenkter Bestimmungsgrenze möglich ist, können zusammenfassende Empfehlungen für einen vollzugsbehördlichen Umgang mit den Untersuchungsergebnissen gegeben werden. Die zur Anwendung empfohlenen Regressionsgleichungen zur Abschätzung des RV-Gehalts aus dem gemessenen KW-Gehalt sind für die Elemente Arsen, Cadmium und Blei in Tabelle 31 dargestellt.

### Regressionsbeziehungen für Arsen

Unter Beachtung der ermittelten absoluten RV-Gehaltsanteilsdifferenzen und des Umstandes, dass die Regressionsbeziehungen der verglichenen Regionen immer nur über relativ begrenzte Gesamtgehaltsbereiche hinweg hinreichend übereinstimmende Ergebnisse liefern, eignet sich keine der ermittelten sechs Regionsbeziehungen als „Generalbeziehung“. Es kann auch keine solche speziell zu ermittelnde Beziehung zur einheitlichen Charakterisierung der sechs untersuchten Regionen empfohlen werden.

Bezogen auf einen Gesamtgehaltsbereich von 25 mg/kg bis etwa 500 mg/kg ist jedoch eine Zusammenfassung von Beziehungen (Ehrenfriedersdorf/Geyer und Zschopauaue; Annaberg und Wolkenstein/Marienberg) vertretbar. Da der Gesamtbelastungsbereich für die Zschopauaue weitgehend dem unteren und mittleren Gesamtgehaltsbereich der Region Ehrenfriedersdorf/Geyer entspricht, dabei nur für die letztgenannte Region die Gehalte bis in extreme Höhen reichen, wird für die Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und Zschopauaue die gemeinsame Anwendung der Regionsbeziehung Ehrenfriedersdorf/Geyer empfohlen. Mit einer vergleichbaren Überlegung, was die bekannten Gesamtbelastungsbereiche und Übereinstimmung der Regionsbeziehungen in davon maßgeblichen Bereichen betrifft, wird die gemeinsame Anwendung der Gesamtgebietsbeziehung Annaberg für die Regionen Annaberg und Wolkenstein/Marienberg empfohlen. Dabei sollte, ausgehend vom Besorgnis-Grundsatz, jeweils die Regionsfunktion genutzt werden, welche im Gesamtgehaltsbereich von 25 mg/kg bis 140 mg/kg (= PWI) die relativ höheren RV-

Gehaltsanteile liefert. Die Beziehungen für Freiberg und Pobershau sollten jeweils nur für ihre Regionen zur Anwendung gelangen.

**Tabelle 31: Zur Abschätzung des RV-Gehalts empfohlene Regressionsgleichungen**

<b>Arsen (Nutzung der Gleichung ab 25 mg/kg KW)</b>	
Region Freiberg	$f(x) = y = 10^{-0,2628 * x^{0,8578}}$
Region Pobershau	$f(x) = y = 10^{-0,5147 * x^{0,9276}}$
Regionen Annaberg und Wolkenstein/Marienberg	$f(x) = y = 10^{-0,4947 * x^{0,9521}}$
Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und Zschopauaue	$f(x) = y = 10^{-0,7993 * x^{0,9840}}$

<b>Cadmium (Nutzung der Gleichung ab 1 mg/kg KW)</b>	
Regionen Freiberg und Annaberg	$f(x) = y = 10^{-0,2558 * x^{0,9721}}$
Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und Zschopauaue	$f(x) = y = 10^{-0,4591 * x^{0,9465}}$

<b>Blei (Nutzung der Gleichung ab 70 mg/kg KW)</b>	
Region Freiberg	$f(x) = y = 10^{-0,3424 * x^{0,9254}}$
Region Pobershau	$f(x) = y = 10^{-0,3741 * x^{0,9128}}$
Regionen Annaberg und Wolkenstein/Marienberg	$f(x) = y = 10^{-0,9604 * x^{1,1710}}$
Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und Zschopauaue	$f(x) = y = 10^{-0,8199 * x^{1,0267}}$

\* x = Gesamtgehalt im Oberboden in mg/kg TS; f(x) = y = resorptionsverfügbare Gehalt in mg/kg

Unterhalb eines Arsen-Gesamtgehaltes von 25 mg/kg (=PWK) ergeben sich für alle Regressionsbeziehungen durchweg absolute RV-Gehaltsanteile kleiner als die aktuell für das MDM-Verfahren verbreitet übliche analytische Bestimmungsgrenze von 10 mg/kg. Dazu kommt, dass für die Herleitungen der Regressionsfunktionen in diesem niedrigen Gesamtgehaltsbereich ohnehin relativ wenige Analysen-Wertepaare mit hinreichend sicher bestimmtem RV-Gehalt vorlagen. Damit bestehen im Belastungsbereich < 25 mg/kg Gesamtgehalt größere Unsicherheiten bezüglich der Herleitung der Regressionsfunktionen. Eine Anwendung in diesem niedrigen Gehaltsbereich sollte deshalb nicht erfolgen. Für hohe bis sehr hohe Gesamtgehalte wird eine solche Einschränkung nicht als erforderlich erachtet.

#### Regressionsbeziehungen für Cadmium

Aus den Untersuchungen für Cadmium konnten nur für vier Regionen (Freiberg, Ehrenfriedersdorf/Geyer, Annaberg und Zschopauaue) sichere Gesamtgebietsbeziehungen als repräsentative Gebietsbeziehungen hergeleitet werden. Aus dem regionalen Vergleich dieser Regressionsbezie-

hungen ergeben sich darüber hinaus im Sinne absoluter Werte signifikante Ähnlichkeiten für je zwei der Regionen. So gleichen sich, noch deutlicher als beim Arsen, über ihre Gesamtgebietsbeziehungen zum einen die Regionen Ehrenfriedersdorf/Geyer und die Zschopauaue und zum anderen die Regionen Freiberg und Wolkenstein/Marienberg.

Die nach den jeweiligen Regressionsbeziehungen der Regionen-Paare errechneten absoluten RV-Gehaltsanteile differieren dabei über einen das Cadmium-Gesamtgehaltsspektrum aller Regionen umfassenden Bereich (von 1 mg/kg = VW Cd bis etwa 50 mg/kg) so minimal, dass eine Charakterisierung über jeweils eine der beiden Paar-Regressionsbeziehungen sicher empfohlen werden kann. Dabei sollte, ausgehend vom Besorgnis-Grundsatz, jeweils die Regionsfunktion genutzt werden, welche im Gesamtgehaltsbereich von 1 mg/kg bis 50 mg/kg (= PWP) die relativ höheren RV-Gehaltsanteile liefert.

Die Ermittlung und Nutzung einer bisher nicht bestimmten „Generalbeziehung“ für alle vier Regionen ist bei der Eindeutigkeit der gefundenen Beziehungen nicht zu empfehlen. Zum einen würden die relativen und absoluten Abweichungen daraus berechneter RV-Gehalte zu den hergeleiteten Beziehungen wieder deutlich größer. Zum anderen widerspräche eine solche Generalbeziehung der gefundenen Differenziertheit der Regionen.

Aus vergleichbarem Grund wie bei den Beziehungen für Arsen (wenige Analysen-Wertepaare als Stützstellen zur Herleitung der Regressionsbeziehungen; berechnetes Realwertenniveau für RV-Gehalte unterhalb gängiger BG), sollte auch auf eine Anwendung der Gebietsbeziehungen beim Cadmium im dafür niedrigen Gesamtgehaltsbereich (hier kleiner 1 mg/kg = VW Cd) verzichtet werden. Einen Grund für eine Einschränkung der Anwendung bei hohen bis sehr hohen Cd-Gesamtgehalten im Oberboden wird dagegen nicht gesehen.

#### Regressionsbeziehungen für Blei

Beim Blei konnten wie beim Arsen die ermittelten Gesamtgebietsbeziehungen aller sechs ausgehaltenen und untersuchten Regionen als repräsentativ für die jeweiligen weiteren Unterbeziehungen festgestellt werden. Im Vergleich der Regionsbeziehungen untereinander zeigen sich mit einer dem Cadmium vergleichbar hohen Ähnlichkeit beim Blei drei Paar-Beziehungen von je zwei Regionen. Die Gebietsbeziehungen für Ehrenfriedersdorf/Geyer und die Zschopauaue gleichen sich, wie bereits im Fall von Arsen und Cadmium, hier zum dritten Mal markant. Die zweite Paar-Beziehung, Region Annaberg mit der Region Wolkenstein/Marienberg wird auf Grund der metallogenetisch-paragenetischen Ähnlichkeiten als gleichfalls plausibel betrachtet.

Die nach den jeweiligen Regressionsbeziehungen der beiden Regionen-Paare errechneten absoluten RV-Gehaltsanteile differieren dabei über einen das Cadmium-Gesamtgehaltsspektrum aller Regionen umfassenden Bereich (von 1 mg/kg = VW Cd bis etwa 50 mg/kg) so minimal, dass eine Charakterisierung über jeweils eine der beiden Paar-Regressionsbeziehungen sicher empfohlen werden kann. Für die Ähnlichkeit der Regressionsbeziehung der Region Freiberg mit der für die

Region Pobershau konnte keine fachlich schlüssige Erklärung gefunden werden. Für beide Regionen sollte deshalb bis auf weiteres die jeweilige regionsspezifische Gesamtbeziehung zur Anwendung gelangen.

Anders als in den Fällen der Gebietsbeziehungen für Arsen und Cadmium ist bei den Blei-Beziehungen schon ab Gesamtgehalten kleiner dem Vorsorgewert von 70 mg/kg (ab etwa 40 mg/kg) mit RV-Gehaltsanteilen im überwiegend analytisch sicheren Wertenniveau zu rechnen. Eine Anwendung der empfohlenen Funktionen ist etwa im Gesamtgehaltsbereich von ca. 40 mg/kg bis etwa 1.000 mg/kg sachlich gut vertretbar. Erst oberhalb dieses Gehaltsniveaus hin zu Extremwert-Niveaus laufen die Ergebnisse der RV-Gehaltsberechnungen nach den Paar-Beziehungen wieder stärker auseinander. Da jedoch nur in den Regionen Freiberg und Ehrenfriedersdorf/Geyer ein entsprechend hohes bis sehr hohes Gesamtgehaltsniveau für Blei im Oberboden erreicht wird, können oberhalb der 1.000 mg/kg-Gesamtgehaltsschwelle die für die genannten Regionen ermittelten spezifischen Gesamtgebietsbeziehungen genutzt werden. Für die gemeinsame Charakterisierung der Regionen Annaberg und Wolkenstein/Marienberg wird die Gebietsfunktion für Wolkenstein/Marienberg empfohlen, da diese im unteren und mittleren Gesamtgehaltsniveau die relativ höheren RV-Gehaltsanteile ergibt.

Die gemeinsame Charakterisierung der Regressionsbeziehungen der sechs Regionen über eine mathematisch ermittelte „Generalbeziehung“ ist auch im Fall von Blei als nicht der differenzierten Situation gerecht werdend abzulehnen.

## **6 Literaturverzeichnis**

- AG BODEN (BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung; Hrsg.) (Hannover, 2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., erarbeitet durch die AD-HOC-AG Boden, 438 S., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- ARCADIS CONSULT GMBH (2008, unveröff.): Kartenwerk zur Festlegung eines Bodenplanungsgebietes nach § 9 SächsABG im Raum Ehrenfriedersdorf/Geyer sowie eines Gebietes nach § 12 Abs. 10 BBodSchV im mittleren Bereich des Erzgebirgskreises, incl. Erläuterungsbericht, Freiberg, 29.05.2008; Auftraggeber: Regierungspräsidium Chemnitz
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2005, unveröff.): Kartenwerk für die Festlegung eines Bodenplanungsgebietes nach § 9 SächsABG im Raum Freiberg, incl. Erläuterungsbericht; Freiberg, 31.10.2005; Auftraggeber: Regierungspräsidium Chemnitz
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2007, unveröff.): Kartenwerk für die Festlegung des Bodenplanungsgebietes nach § 9 SächsABG für die Zschopauaue, incl. Erläuterungsbericht, Freiberg, 10.04.2007; Auftraggeber: Regierungspräsidium Chemnitz
- Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sicherung von Altlasten vom 17.03.1998 (BGBl. I, 1998, S. 502); in Kraft seit dem 01.03.1999

- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 (BGBl. I, 1999, S. 1554)
- HÖSEL, G., TISCHENDORF, G., WASTERACK, J. UNTER MITARBEIT VON BREITER, K., KUSCHKA, E., PÄLCHEN, W., RANK, G. UND M. ŠTEMBROK (1997): Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory 1:100.000“, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt; Schriftenreihe „Bergbau in Sachsen“, Band 3, Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie / Sächsisches Oberbergamt, Freiberg, 1997
- KARDEL, K. und G. RANK (2008): Auenmessprogramm des Freistaates Sachsen – Untersuchung der Auenböden der Elbe und des Muldensystems auf Arsen und Schwermetalle – LfULG, Freiberg, Juni 2008
- LFL - Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit Arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Dresden, 2006
- LFUG - Bodatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3, Bodenmessprogramm, Bodenmessnetz Raster 4 km x 4 km. Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 06/1999
- LFUG - Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten. Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Stand 04/2006
- Lva - Landesvermessungsamt Sachsen (2005): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, ATKIS-DLM25. www-Information: <http://www.lverma.smi.sachsen.de>
- Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (SächsABG) vom 15.07.1999 (SächsGVBl. 1999, S. 261)
- WASTERACK, J., TISCHENDORF, G., Hösel, G., Breiter, K., Chrt, J., Komínek, J. & M. Štembrok (1995): Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory, Karte 2: Metalle, Fluorit / Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt – M 1:100.000; Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie / Czech Geological Survey, Freiberg / Praha, 1995

## Die im Bericht erwähnten Anlagen

- Anlage 1: Gesamtübersicht Statistische Kenngrößen Analysendaten
- Anlage 2: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Freiberg (FG)
- Anlage 3: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Ehrenfriedersdorf/Geyer (Edf - Gey)
- Anlage 4: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Annaberg (Ana)
- Anlage 5: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Wolkenstein/Marienberg (Wst - Mab)
- Anlage 6: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Pobershau (Pob)
- Anlage 7: Diagrammübersicht spezifische Regressionsbeziehungen, Region Zschopauaue (Zscho)
- Anlage 8: Tabellarische Gesamtübersicht Regressionsergebnisse (Abschnitt und Anstieg)
- Anlage 9: Diagrammübersicht Regressionsbeziehungen (Abschnitt/Anstieg) für Arsen im regionalen Vergleich
- Anlage 10: Diagrammübersicht Regressionsbeziehungen (Abschnitt/Anstieg) für Cadmium im regionalen Vergleich
- Anlage 11: Diagrammübersicht Regressionsbeziehungen (Abschnitt/Anstieg) für Blei im regionalen Vergleich
- Anlage 12: Hilfsdiagramme Regressionsbeziehungen zur näherungsweisen Ermittlung der absoluten Werte der resorptionsverfügbaren Gehalte

können bei Bedarf abgefordert werden bei:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie - Referat Bodenschutz

Dr. Ingo Müller

Telefon: 03731 294-226

E-Mail: [ingo.mueller@smul.sachsen.de](mailto:ingo.mueller@smul.sachsen.de)

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: + 49 351 2612-0  
Telefax: + 49 351 2612-1099  
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de  
www.smul.sachsen.de/lfulg

**Redaktion:**

ARCADIS Consult GmbH  
Dipl.-Geol. Matthias Büschel, Dipl.-Geophys. Larissa Müller  
Glück-Auf-Str. 1, 09599 Freiberg  
Telefon: +49 3731-7886-0  
Telefax: +49 3731-7886-99  
E-Mail: m.bueschel@arcadis.de  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Referat Bodenschutz  
Dr. Ingo Müller  
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg  
Telefon: +49 3731 294-226  
Telefax: +49 3731 22918  
E-Mail: ingo.mueller@smul.sachsen.de

**Redaktionsschluss:**

15.02.2010

**ISSN:**

1867-2868

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.