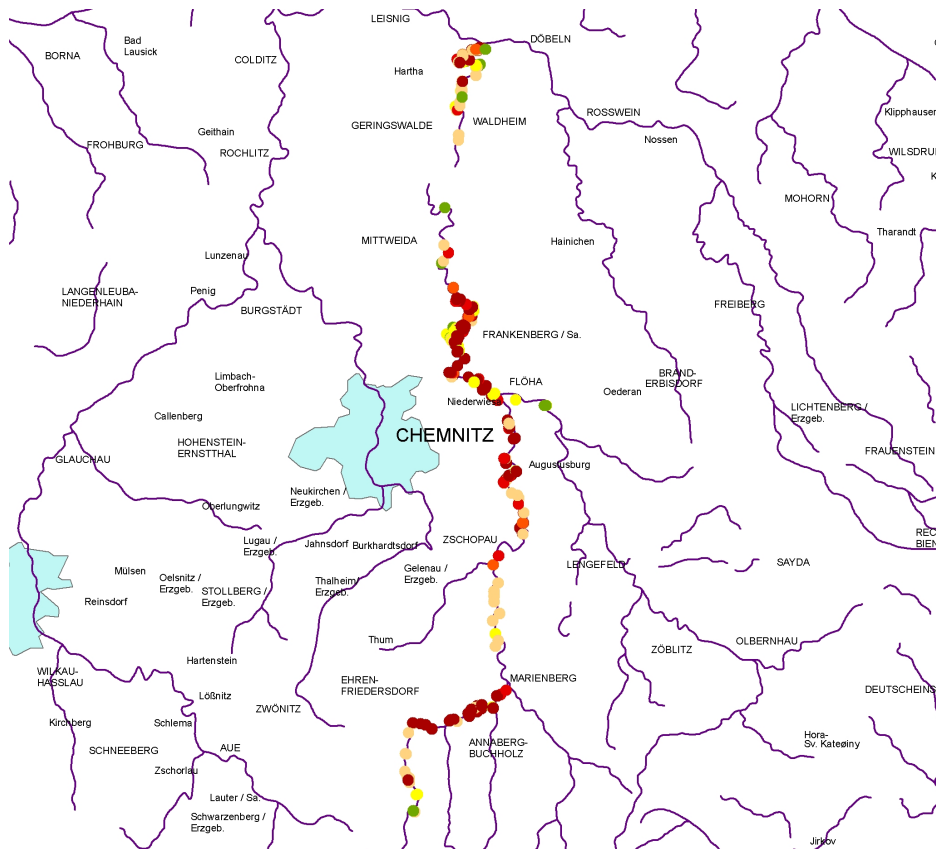


Auenmessprogramm des Freistaates Sachsen -Untersuchung der Auenböden der Elbe und des Muldensystems auf Arsen und Schwermetalle-



Bearbeiter: Kati Kardel
Günter Rank

Freiberg, Juni 2008

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite	
1	Einleitung und Veranlassung	3
2	Geologische und geochemische Charakteristik der Einzugsgebiete	4
3	Datengrundlagen	6
3.1	Probenahme	6
3.2	Analytik	7
4	Untersuchungsergebnisse der einzelnen Flussgebiete	8
4.1	Zwickauer Mulde	8
4.2	Freiberger Mulde	13
4.3	Zschopau	20
4.4	Vereinigte Mulde	26
4.5	Elbe	30
5	Vergleichende Auswertungen und Darstellungen	36
6	Zusammenfassung	47
7	Literaturverzeichnis	49
8	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	51
9	Abkürzungen	54

1 Einleitung und Veranlassung

Auen sind die natürlichen Überschwemmungsflächen entlang von Gewässerläufen. Flüsse und ihre Auen bilden eine Einheit und stehen im ständigen Austausch miteinander. Sie gehören zu den artenreichsten und zugleich am stärksten bedrohten Lebensräumen in Europa. Durch ihre natürliche Reinigungsfunktion (geochemische Senke) sind die Auenböden Sammelbecken für viele Stoffe aus den Flüssen und ihren Einzugsgebieten.

Das extreme Hochwasserereignis 2002 sowie die damit besonders in Sachsen verbundenen Ablagerungen von teilweise hoch mit Arsen und Schwermetallen belasteten Schlämmen rückten die Auen wieder stärker in den Brennpunkt der Aufmerksamkeit. Für die zukünftige Nutzung und aus Sicht des Hochwasserschutzes ist es unverzichtbar die Auen, soweit möglich, in ihrer Morphologie naturnah zu belassen, die anthropogenen Schadstoffeinträge in die Flüsse zu minimieren und den derzeitigen Belastungsgrad der Auen in Hinsicht auf ihre Nutzung zu charakterisieren.

Das sächsische Auenmessprogramm als Bestandteil des sächsischen Bodenmessprogramms untersuchte in den Jahren 2000 – 2006 an ausgewählten, größeren Flüssen Sachsens den Stoffbestand der Auenböden. Dazu wurden in den Auen der Zwickauer, Freiburger und Vereinigten Mulde, der Zschopau und der Elbe Bodenproben entnommen und auf relevante Spurenelemente analysiert. Die Einzugsgebiete der beprobten Flüsse liegen zum größten Teil in den intensiv durch Mineralisation, Bergbau und Hüttentätigkeit geprägten Gebieten des Erzgebirges. Die Böden und Gesteine dieser Gebiete sind durch z. T. extreme Anreicherungen von Arsen, Cadmium, Blei, Kupfer und Zink geprägt. Die Auenböden weisen durch Abtrags-, Aufbereitungs- und Akkumulationsprozesse ähnlich hohe Gehalte auf.

Hinsichtlich der Bewertung der Bodenanalysen nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBODSCHV 1999) sind vielfach Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte auf in den Auen liegenden Acker- und Grünlandflächen zu erwarten und es besteht die Besorgnis des Schadstoffübergangs in Nahrungs- und Futterpflanzen und damit auch die Möglichkeit des Eintrages in die tierische und menschliche Nahrungskette.

2 Geologische und geochemische Charakteristik der Einzugsgebiete

Die naturbedingten Elementgehalte in den Auenböden werden im Wesentlichen durch die geochemischen Verhältnisse in den Einzugsgebieten der Flüsse bestimmt. Die Abtragungs-, Aufbereitungs- und Akkumulationsprozesse im Verwitterungsprozess und bei der Bodenbildung liefern für die Bachsedimente und die Auenböden der Elbe und vor allem des Muldensystems ein breites Spektrum an zu erwartenden Elementanreicherungen (PÄLCHEN et al. 1998, GREIF et al. 2003, RANK et al. 1999). Auf Grund der geochemischen Spezialisierung von Gesteinen (KARDEL et al. 1996), einer Vielzahl von Erzlagerstätten und der Jahrhunderte dauernden Gewinnung und Verarbeitung von Silber-, Blei-, Zink-, Zinn und Uranerzen war und ist die Region des Erzgebirges neben hohen natürlichen Belastungen auch zusätzlichen anthropogenen Belastungen von großer Komplexität ausgesetzt (Abb. 1).

Mulde

Die Mulde ist das Hauptentwässerungssystem des Erzgebirges. Die Einzugsgebiete der Zwickauer, Freiburger und Vereinigten Mulde unterscheiden sich in ihrem Gesteinsbestand und ihren Mineralisationen erheblich voneinander.

Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Das Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde wird durch Phyllite, Glimmerschiefer, Gneise, Granite und Rotliegendesedimente geprägt.

Des Weiteren liegen in dem Gebiet Erzlagerstätten verschiedener Paragenesen und die damit verbundenen bedeutenden Bergbaubetriebe des Westerzgebirges. Der Oberlauf der Zwickauer Mulde ist durch Fe-Mn- und Sn-Vererzungen großer Extensität und geringer Intensität charakterisiert. In ihrem weiteren Verlauf tritt die Zwickauer Mulde in das intensiv genutzte Lagerstättenrevier von Aue-Schneeberg (Bi, Co, Ni, U, Ag, (As)) ein. Dazu kommen die Stoffeinträge aus dem Teileinzugsgebiet des Schwarzwassers mit den Bergbaurevieren Johanngeorgenstadt und Breitenbrunn - Pöhla (Ag, Co, Ni, U, Sn, Zn, W, Fe, (As)).

Im Gebiet Aue / Schlema und Zwickau befindet sich außerdem eine Bergbaulandschaft mit Halden, Aufbereitungsanlagen und Tailings aus der Zeit des jüngeren Uranerzbergbaus.

Die Granite von Eibenstock und Kirchberg und die Sedimente des Rotliegenden im erzgebirgischen Becken weisen eine geochemische Spezialisierung, u. a. hinsichtlich der Elemente Arsen, Uran und Thallium auf.

Einzugsgebiet der Freiburger Mulde und der Zschopau

Im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde, zu dem das Teileinzugsgebiet der Zschopau gehört, dominieren die Gesteine des Grundgebirges. Es handelt sich hierbei überwiegend um Gneise, Granulite und Glimmerschiefer.

Ebenfalls befinden sich hier eine Reihe von bedeutenden auflässigen Bergbau- und Hüttenstandorten. Im Gebiet der sulfidischen Pb-Zn-Ag-Vererzungen bei Freiberg sowie den Sn-, As-, W-Vererzungen bei Ehrenfriedersdorf weisen die Böden mehr oder weniger großflächigen Anreicherungen von As, Cd, Pb (Cu, Zn) bzw. von As (Sn, W, F, Be, Mo) auf. Durch die Verhüttung der Erze an diesen Standorten wurden über Emissionen zusätzlich große Mengen von Arsen- und Schwermetallen in den Boden eingetragen. Diese beiden Gebiete stellen die Schwerpunkte der großflächigen Bodenbelastung mit Arsen in Sachsen dar. Der Freiburger Raum weist zusätzlich die höchsten Belastungen der natürlichen Böden mit Cadmium und Blei auf. Die Lage der Aufbereitungsanlagen, Hüttenstandorte und Halden in unmittelbarer Nähe der Vorfluter führte zu weiteren zusätzlichen Belastungen der Flussauen.

Für das Teileinzugsgebiet der Zschopau sind neben Ehrenfriedersdorf/Geyer noch die Lagerstätten von Annaberg und Marienberg (Ag, Co, U, Ni, Sn) als Stofflieferanten bedeutsam.

Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde

Die geochemische Situation im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde wird i. W. durch die bergbaudominierten Teileinzugsgebiete der Zwickauer und Freiburger Mulde einschließlich Zschopau geprägt, die schwermetallreiche Sedimente (und Wässer) mitbringen. Direkte Nebenflüsse der Vereinigten Mulde, mit vorwiegend känozoischen, schwermetallarmen Lockersedimenten im Einzugsbereich, führen zu keiner deutlichen Entlastung der Schadstoffsituation (Verdünnung).

Elbe

Die Elbe weist auf Grund ihres großen Einzugsgebietes eine breite geologische und somit stoffliche Differenzierung auf.

Die nord- und südostsächsischen Teileinzugsgebiete liefern mit den dort verbreiteten känozoischen Sedimenten und Granodioriten kaum nennenswerte Einträge an Stoffkonzentrationen. Die Teileinzugsgebiete des Osterzgebirges sind wegen der Bergbaugebiete Altenberg-Zinnwald (As, Sn), Schmiedeberg-Niederpöbel und Schellerhau (Ag, Pb, Sn) durch höhere Gehalte an den genannten Elementen gekennzeichnet. Der Schwerpunkt der Belastung liegt hier bei den Einzugsgebieten der Müglitz und der Roten und Wilden Weißeritz.

Bei Meißen mündet die Triebisch in die Elbe, in die über den Rothschnöberger Stolln die Grubenbaue des Freiburger Lagerstättenreviers entwässern (As, Cd, Cu, Pb, Zn).

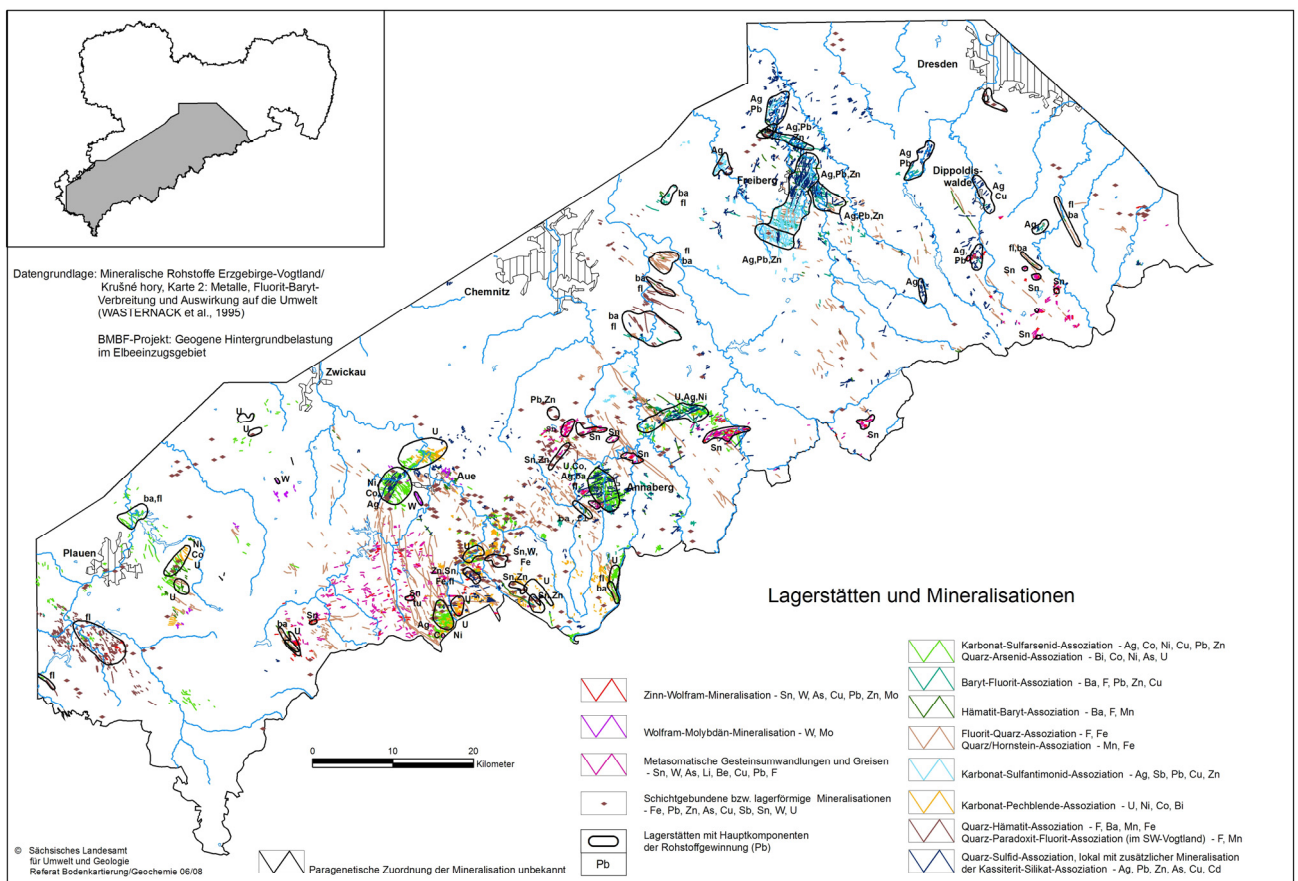


Abb. 1: Geogene Einflüsse auf mögliche Bodenbelastungen - Mineralisationen Erzgebirge/Vogtland

3 Datengrundlagen

3.1 Probenahme

In den ausgewählten Auen bzw. Auenabschnitten wurden in den Jahren 2000 – 2006 an ca. 6150 Standorten Proben entnommen. Die Entnahme der Bodenproben erfolgte auf Catenen (Abstand ca. 1 bis 1,5 km), die mehr oder weniger senkrecht zur Fließrichtung angelegt und der Auenmorphologie angepasst wurden. Der Beprobungsabstand auf den Catenen betrug wenige Meter (Abb. 2), in sehr breiten Auen (u. a. Elbe) lag dieser im Dekameterbereich. Die Beprobung an einer Probenahmestelle umfasst in jedem Fall den Ober- und Unterboden, auf Forststandorten wurde zusätzlich der organische Auflagehorizont (Oh) beprobt. In der Regel wurde aus dem Ober- bzw. aus dem Unterboden eine horizontbezogene Probe entnommen, bei mächtigeren Oberbodenhorizonten >30 cm zwei Proben. Der Anfangspunkt/Endpunkt der Catena sollte in einer an die Aue angrenzenden und somit von der Auendynamik möglichst unbeeinflussten Bodeneinheit liegen.

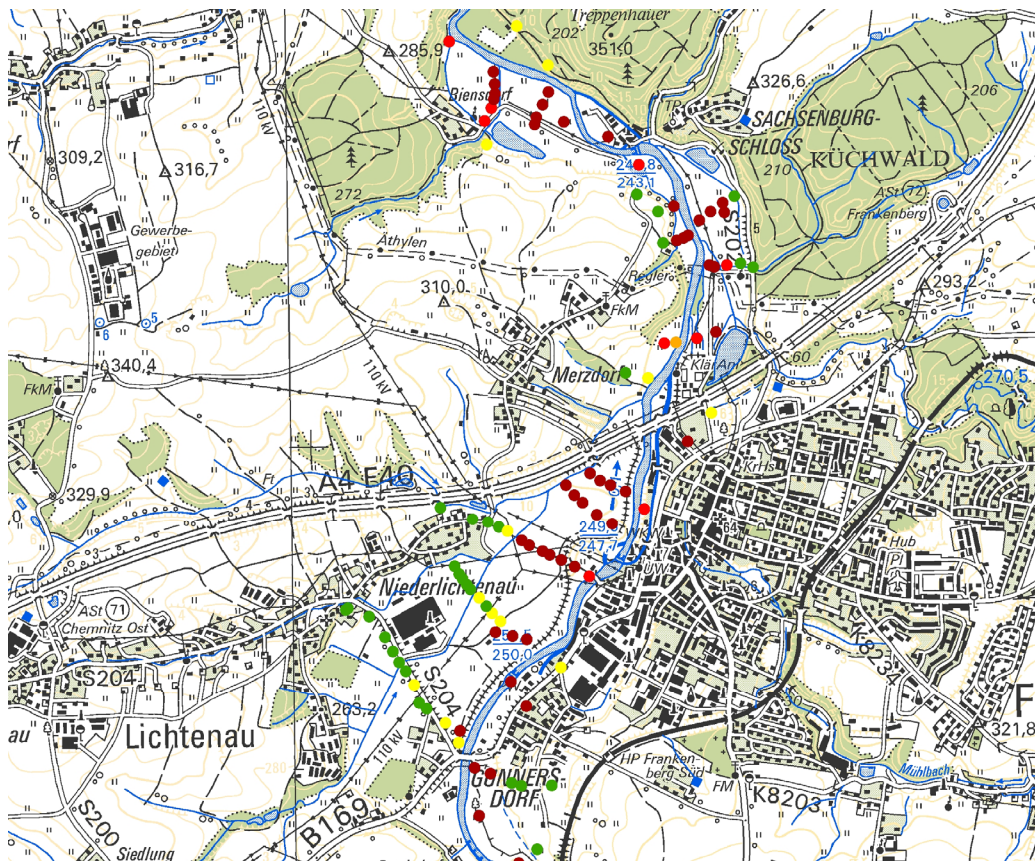


Abb. 2: Beispiel eines Probenahmeschemas mit Catenen und Probenahmepunkten (Zschopau bei Frankenberg)

An den Standorten erfolgte zusätzlich zur Probeentnahme eine bodenkundliche Ansprache des Profils nach KA 4 (AG BODEN 1994). Die Ansprache wurde in einem Formblatt festgehalten und nach Abschluss der Feldarbeiten mit dem Programm UBODEN in das Fachinformationssystem Boden des LfUG übernommen.

Eine Sonderstellung bei der Probenahme nimmt das Pilotprojekt „Auenböden der Vereinigten Mulde“ ein, in dem wegen der besonderen Situation des Hochwasserereignisses 2002 sehr

detailliert und flächenbezogen beprobt wurde. Als Anforderung bei diesem Projekt stand hier seitens der Landestalsperrenverwaltung (LTV) eine relativ hohe Aussagesicherheit für einen Maßstab von 1 : 10 000 im Vordergrund. Im Rahmen dieser sog. Projektgebiete des Pilotprojektes wurden z. T. 100 Proben/km² entnommen, die Anzahl der tatsächlich untersuchten Proben wurde aber wegen des enormen Arbeitsaufwandes und der Analysenkosten auf 50 Proben/km² gesenkt. Weitere Angaben sind dem Kapitel 4.4 zu entnehmen.

3.2 Analytik

Die entnommenen Proben wurden bei Raumtemperatur getrocknet und abgeseibt. Der Feinboden (<2mm) wurde abgetrennt, gemahlen und auf den pH-Wert (CaCl₂) und relevante Spurenelemente im Königswasseraufschluss (KW) nach DIN ISO 11466, im Ammoniumnitratextrakt (AN) nach DIN 19730 und teilweise im S4 Eluat (DIN 38414) untersucht.

Die untersuchte Elementpalette richtete sich nach den aus den Einzugsgebieten zu erwartenden Elementparagenesen, umfasste aber in jedem Fall die Elemente Arsen, Cadmium, Blei, Kupfer und Zink. Die Bestimmungsgrenzen für die einzelnen Elemente können projektbezogen in Abhängigkeit von den einzelnen Laboratorien schwanken und stimmen deshalb auch in den folgenden Tabellen im Kapitel 4 nicht immer für gleiche Elemente überein.

Die Analysenergebnisse wurden ebenfalls im FIS Boden zusammen mit den bodenkundlichen Parametern abgelegt.

Etwa 100 ml des gemahlten Feinbodens wurden als Probenrestmaterial in die Bodenprobenbank des LfUG eingelagert.

Die Tabelle 1 enthält Angaben zum Zeitraum der Probenahme, zum Probenehmer und zu den mit der Analytik beauftragten Laboratorien des Auenmessprogramms sowie zur Anzahl der Proben.

Tab. 1: Probenahme und Analytik der Projekte des Auenmessprogramms

Aue/Catenen	Probenahme	Analytik Königswasser	Analytik Ammoniumnitrat	Proben- anzahl, gesamt
Vereinigte Mulde	Büro Franzke Freiberg 2000	DBI-AUA Freiberg	UBG Neusörnewitz	1486
Elbe Nord (nör- lich Riesa)	Büro Sinapius 2000	Rietzler & Kunze Freiberg	UBG Neusörnewitz	1157
Zschopau	Bodenkontor Mehlhorn Freiberg 2002/2005	DBI-AUA Frei- berg/AUA Jena	UBG Neusörnewitz	1033
Freiberger Mulde	Bodenkontor Mehlhorn Freiberg 2002 / Beak Consultants Freiberg 2005	Rietzler & Kunze Freiberg / DBI-AUA Freiberg	UBG Neusörnewitz	911
Zwickauer Mulde	Beak Consultants Freiberg 2003	UBG Neusörnewitz	UBG Neusörnewitz	1420
Elbe Süd	Bodenkonto Mehlhorn Freiberg 2006	DBI-AUA Freiberg	UBG Neusörnewitz	888
Aue / Raster				
Vereinigte Mulde Pilotprojekt SMUL	AUA Jena, Galinsky & Partner Freiberg, AgriCon Jahna 2003/2004	G.E.O.S. Freiberg, AUA Jena, Rietzler & Kunze Freiberg	G.E.O.S. Freiberg, AUA Jena, Rietzler & Kunze Freiberg	4067

4 Untersuchungsergebnisse der einzelnen Flussgebiete

Für die Charakteristik der einzelnen Flussgebiete wurde als erster Überblick eine Gesamtstatistik des Ober- und Unterbodens erstellt. Vor der Berechnung wurden alle Proben, welche nach bodenkundlicher Ansprache nicht in der Aue lagen, aus der Datei entfernt. Anschließend wurde das Datenkollektiv des Oberbodens noch nach den Nutzungsarten Acker, Grünland und - wenn ausreichend Daten ($n > 20$) vorhanden waren – nach Forst und Nutzgarten unterteilt und die Einzelkollektive ebenfalls einer Berechnung zugeführt. Bei den Auenböden der Freiburger Mulde erfolgte zusätzlich eine Unterteilung des Unterbodens in die einzelnen Nutzungsarten, um einen Eindruck vom Einfluss der Nutzung im Unterboden zu erhalten. In den Tabellen sind die Anzahl der Proben (n), der arithmetische Mittelwert, der Median (P50), die Standardabweichung, das 90er Percentil (P90), Minimum (Min) und Maximum (Max) angegeben. Zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Datenkollektive miteinander enthält die letzte Tabelle nach jedem Aufschlussverfahren (KW bzw. AN) als Zusammenfassung die Medianwerte der Elemente. Liegt der Analysenwert unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird er in den Tabellen mit „<Wert der Bestimmungsgrenze“ angegeben. Für die Berechnungen wurde bei Gehalten <Bestimmungsgrenze die Hälfte der Bestimmungsgrenze eingesetzt. Liegen bei einem Element sowohl das arithmetische Mittel als auch der Median und das 90er Percentil unter der Bestimmungsgrenze, ist in den Tabellen keine Standardabweichung angegeben. Die deskriptiven Statistiken wurden mit dem Programm SPSS berechnet.

Die Angabe einer Statistik über den gesamten Flusslauf kann nur zur allgemeinen Charakterisierung eines Gebietes dienen, da die Stoffgehalte der Auenböden häufig im Flussverlauf mehr oder weniger stark schwanken.

Zum Teil wurden zur Erklärung der Stoffgehalte der Auenböden die mittleren Elementgehalte (P50) der Bachsedimente in den betreffenden Einzugsgebieten herangezogen (PÄLCHEN et al. 1998, GREIF et al. 2003). Die Elementgehalte der Bachsedimente wurden an der Fraktion <200 μm als Totalgehalte analysiert und dienen nur zur groben Orientierung.

4.1 Zwickauer Mulde

Die Zwickauer Mulde wurde von der Talsperre Eibenstock bis zu ihrer Einmündung in die Freiburger Mulde beprobt.

Tab. 2: Zwickauer Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	632	5,7	5,8	6,5	3,2	7,5	0,65
As	632	74	71	140	5,9	430	53
Cd	632	2,5	1,3	6,6	<0,10	28	3,2
Co	632	15	14	22	2,5	400	16
Cr	632	37	32	58	6,3	800	34
Cu	632	66	49	150	4,9	490	56
Hg	632	0,29	0,23	0,61	<0,05	1,6	0,22
Mn	632	722	720	940	120	2800	224
Mo	632	1,3	1,2	2,3	<0,50	15	0,93
Ni	632	36	29	63	6,8	350	22
Pb	632	77	67	130	13	1300	66
Tl	632	0,76	0,78	1,2	<0,10	2,9	0,33
U	632	13	8,3	36	<1,0	100	14
Zn	632	243	190	490	25	990	170

Tab. 3: Zwickauer Mulde - Oberboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	247	6,0	6,1	6,6	4,6	7,5	0,45
As	247	68	65	130	7,5	340	55
Cd	247	1,5	1,1	2,9	<0,10	17	2,2
Co	247	15	13	21	5,7	400	25
Cr	247	33	28	42	6,3	800	50
Cu	247	48	39	98	6,3	490	47
Hg	247	0,21	0,18	0,38	<0,05	1,0	0,16
Mn	247	734	720	972	250	2800	230
Mo	247	1,1	1,1	1,8	<0,50	15	1,0
Ni	247	29	26	42	12	350	23
Pb	247	65	54	102	13	1300	86
Tl	247	0,71	0,74	1,1	<0,10	1,4	0,30
U	247	7,9	6,4	15	<1,0	46	8,2
Zn	247	185	170	332	43	980	126

Tab. 4: Zwickauer Mulde - Oberboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	330	5,6	5,7	6,4	4,1	7,5	0,58
As	330	77	78	140	5,9	200	47
Cd	330	3,3	2,0	8,8	<0,10	28	3,7
Co	330	15	16	23	3,3	29	5,7
Cr	330	39	36	62	7,0	130	16
Cu	330	77	70	160	5,0	260	55
Hg	330	0,35	0,30	0,67	<0,05	1,2	0,22
Mn	330	709	710	910	240	2300	190
Mo	330	1,4	1,3	2,5	<0,50	4,3	0,78
Ni	330	40	36	65	7,5	100	19
Pb	330	84	82	130	15	460	47
Tl	330	0,78	0,81	1,2	0,16	2,9	0,34
U	330	17	12	42	1,2	100	16
Zn	330	288	260	530	38	990	184

Tab. 5: Zwickauer Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	631	5,8	5,9	6,6	3,5	8,0	0,71
As	631	67	52	160	3,9	620	64
Cd	631	1,4	0,60	3,1	<0,10	24	2,4
Co	630	14	12	24	2,3	370	16
Cr	631	32	26	48	5,0	1400	58
Cu	631	53	27	140	3,1	660	74
Hg	630	0,20	0,08	0,50	0,05	1,8	0,26
Mn	631	720	680	990	31	11000	500
Mo	629	0,99	0,73	2,1	<0,50	26	1,3
Ni	631	29	23	54	4,1	650	31
Pb	631	59	37	138	7,6	1500	81
Tl	631	0,72	0,71	1,2	0,11	2,1	0,36
U	631	9,6	5,2	20	<1,0	120	15
Zn	631	180	130	380	12	2100	192

Tab. 6: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Zwickauer Mulde

Element in mg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Unterboden gesamt
pH	5,8	6,1	5,7	5,9
As	71	65	78	52
Cd	1,3	1,1	2,0	0,60
Co	14	13	16	12
Cr	32	28	36	26
Cu	49	39	70	27
Hg	0,23	0,18	0,30	0,08
Mn	720	720	710	680
Mo	1,2	1,1	1,3	0,73
Ni	29	26	36	23
Pb	67	54	82	37
Tl	0,78	0,74	0,81	0,71
U	8,3	6,4	12	5,2
Zn	190	170	260	130

Tab. 7: Zwickauer Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	632	<25	<25	34	<25	250	-
Cd	632	111	46	290	<2,0	4000	220
Co	632	51	20	127	<15	1200	100
Cr	632	<25	<25	<25	<25	410	-
Cu	632	167	120	340	<25	2700	219
Mn	631	9800	6200	21000	71	98000	11260
Mo	632	<15	<15	<15	<15	42	-
Ni	632	402	140	1000	<15	6600	733
Pb	632	84	<15	137	<15	4200	332
Tl	632	31	22	64	<2,0	160	26
Zn	632	4160	1200	11700	<100	95000	7950

Tab. 8: Zwickauer Mulde - Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	247	<25	<25	30	<25	110	-
Cd	247	41	18	97	<2,0	600	72
Co	247	19	<15	35	<15	250	26
Cr	247	<25	<25	<25	<25	40	-
Cu	247	103	80	220	<25	800	102
Mn	247	6741	5000	13200	120	41000	5850
Mo	247	<15	<15	<15	<15	25	-
Ni	247	115	49	284	<15	1700	202
Pb	247	<15	<15	16	<15	260	-
Tl	247	17	15	29	<2,0	110	14
Zn	247	1180	260	3000	<100	25000	2700

Tab. 9: Zwickauer Mulde - Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	330	<25	<25	33	<25	110	-
Cd	330	153	83	389	<2,0	4000	265
Co	330	56	29	129	<15	760	87
Cr	330	<25	<25	<25	<25	410	-
Cu	330	188	170	360	<25	2500	186
Mn	330	10097	6900	24700	71	98000	10322
Mo	330	<15	<15	<15	<15	42	-
Ni	330	489	250	1190	<15	4900	696
Pb	330	62	19	140	<15	1900	154
Tl	330	38	35	69	4,1	150	25
Zn	330	5480	2550	14000	<100	95000	8475

Tab. 10: Zwickauer Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	631	<25	<25	<25	<25	600	-
Cd	631	59	25	150	<2,0	960	101
Co	631	43	<15	83	<15	3300	160
Cr	631	<25	<25	<25	<25	150	-
Cu	631	137	40	278	<25	7300	437
Mn	629	5156	3000	12000	42	54000	6156
Mo	631	<15	<15	<15	<15	100	-
Ni	631	272	84	630	<15	5600	577
Pb	631	110	<15	110	<15	13000	766
Tl	631	28	17	59	<2,0	290	33
Zn	631	2230	530	5540	<100	37000	4880

Tab. 11: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Zwickauer Mulde

Element in µg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Unterboden gesamt
As	<25	<25	<25	<25
Cd	46	18	83	25
Co	20	<15	29	<15
Cr	<25	<25	<25	<25
Cu	120	80	170	40
Mn	6200	5000	6900	3000
Mo	<15	<15	<15	<15
Ni	140	49	250	84
Pb	<15	<15	19	<15
Tl	22	15	35	17
Zn	1200	260	2550	530

Die im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde liegenden Mineralisationen von Aue - Schneeberg, Johannegeorgenstadt und Breitenbrunn - Pöhla liefern ein breites Elementspektrum, u. a. an As, Co, Ni, U, Sn, Zn, W und Fe.

Die Arsengehalte sind bereits in den ersten Proben im Oberlauf nach der Talsperre Eibenstock erhöht, was auf den Einfluss der Sn-(As)-Mineralisation im Eibenstocker Granit hindeutet. Im

Raum zwischen Zwickau, Glauchau und Waldenburg weitet sich die Flussaue und die As-Gehalte in den Auenböden erreichen Maximalwerte. Neben der größeren Überschwemmungshäufigkeit tragen auch die höheren Arsengehalte der umgebenden Rotliegendensedimente des Erzgebirgischen Beckens zu der Belastung der Aue bei. Nach dem Durchfluss durch das Granulitgebirge zwischen Penig und Lunzenau nehmen die Arsengehalte tendenziell wieder ab und liegen vor dem Zusammenfluss der Zwickauer mit der Freiburger Mulde auf einem relativ niedrigen Niveau. Nach PÄLCHEN et al. (1998) weisen im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde die Bachsedimente des Schwarzwassers die höchsten Mediangehalte (70 mg/kg As) auf.

Die Cadmiumgehalte sind in den ersten beprobten Flusskilometern niedrig, da die Mineralisationen des Einzugsgebietes kaum Cd liefern. Sie steigen industriell bedingt im Raum Zwickau, Glauchau und Penig an und bleiben bis zur Mündung der Zwickauer Mulde in die Vereinigte Mulde in diesem Gehaltsbereich. Auffallend ist auch eine deutliche, abrupte Abnahme der Cd-Gehalte innerhalb der Catenen von den flussnahen zu den flussferneren Probenahme-punkten.

Die Urangehalte liegen bedingt durch die höheren Gehalte des Eibenstocker Granits bereits in den Auenböden des Oberlaufs deutlich über dem Gehalt unbelasteter Böden. Sie steigen nach Zufluss des Schwarzwassers bei Aue und hinter Hartenstein weiter an. Die hohen Gehalte bleiben bis nach der Ortslage Zwickau durch Einleitung der Entwässerung der Aufbereitungs-anlage Crossen bestehen. Die Urangehalte liegen hier im Durchschnitt zwischen 7 und 12 mg/kg. Hinter Waldenburg fallen die Gehalte dann wieder auf ein etwas niedrigeres Ni-veau (5 – 8 mg/kg) ab, welches dann bis zum Zusammenfluss des Flusses mit der Freiburger Mulde erhalten bleibt. Aber auch in diesem Abschnitt treten noch vereinzelt sehr hohe Maxi-malwerte auf. Der mittlere Urangehalt der Auenböden der Zwickauer Mulde liegt deutlich über dem Hintergrundwert der Böden der westelbischen Auen (RANK et al. 1999).

Das Element Blei bleibt in den Böden über den gesamten Flussverlauf auf einem mittleren bis niedrigen Gehaltsniveau.

Die Zinkgehalte steigen nach dem Zusammenfluss des Schwarzwassers mit der Zwickauer Mulde an und bleiben über den gesamten Flussverlauf in etwa konstant. Die Gehalte nehmen auf den Catenen häufig mit der Entfernung zum Fluss ab. Die höchsten Zinkgehalte im Gebiet der Zwickauer Mulde treten nach PÄLCHEN et al. (1998) in den Bachsedimenten der Teilein-zugsgebiete des Schwarzwassers und Pöhlwassers (ca. 260 mg/kg Zn) und industriellbedingt im Unterlauf der Zwickauer Mulde nach der Ortslage Zwickau auf.

Die Gesamtstatistik der Oberböden liefert im Durchschnitt über die gesamte Flusslänge erhöhte Arsen-, Cadmium-, Blei-, Zink-, Mangan- und Urangesamtgehalte. Die Elementgehalte der Unterböden liegen auf einem deutlich niedrigeren Niveau, etwa im Bereich der Hinter-groundwerte der Böden des Einzugsgebietes.

Innerhalb der Datenkollektive des Oberbodens tritt eine deutliche Differenzierung zwischen den Acker- und Grünlandstandorten auf. Die Elementgehalte in den Böden unter Grünland-nutzung sind durch die fehlende Homogenisierung bei der Bodenbearbeitung deutlich höher als in den Böden unter Ackernutzung. Der Arsenmedianwert für Grünland liegt bei 78 mg/kg, was eine hohe Überschreitungswahrscheinlichkeit des Maßnahmenwertes nach BBodSchV von 50 mg/kg erwarten lässt. 67,3 % der untersuchten Bodenproben unter Grünlandnutzung überschreiten demzufolge diesen Wert.

Der von der Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL 2006) herausgegebene Empfehlungswert für Grünland von 2 mg/kg Cd, ab dem eine Untersuchung der Aufwüchse vor Futternutzung angeraten wird, wird von 49,1 % der untersuchten Proben überschritten.

Für Blei wurden keine Überschreitungen des Maßnahmenwertes festgestellt.

Die Elementgehalte im Ammoniumnitratextrakt liegen in den Oberböden unter Grünland auch aufgrund des dort zumeist niedrigeren pH-Wertes ebenfalls deutlich höher als unter Ackernutzung bzw. im Unterboden. Dennoch überschreiten 25 % der Proben auf Ackerflächen den Maßnahmenwert für Cd von 40 µg/kg, der Maßnahmenwert von 100 µg/kg wird noch von 7,7 % überschritten.

Die AN-extrahierbaren Gehalte für Blei liegen bereits bei den Mediangehalten (mit Ausnahme der Grünlandstandorte) unter der Bestimmungsgrenze, die Werte für Tl bleiben bis auf einen Fall deutlich unter dem Prüfwert.

Die für Arsen angegebenen Prüf- bzw. Empfehlungswerte (KW) nach BBodSchV für die Nutzungsart Ackerbau/Nutzgarten von 50 bzw. 200 mg/kg werden von 59,3 bzw. 2,8 % der Proben überschritten.

4.2 Freiburger Mulde

Die Freiburger Mulde wurde von nördlich Weißenborn bis zu ihrem Zusammenfluss mit der Zwickauer Mulde bei Sermuth beprobt. Die Beprobung wurde in zwei Etappen durchgeführt. Die ersten Proben wurden 2002 nach dem Hochwasser entnommen, eine zweite Probenahme-kampagne erfolgte 2003.

Tab. 12: Freiburger Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	402	5,5	5,6	6,6	2,9	7,7	0,99
As	402	305	160	714	1,3	4600	465
Cd	402	5,7	2,8	16	<0,10	51	7,6
Cu	402	113	69	250	4,5	1400	133
Pb	402	780	465	1800	18	13000	1112
Sb	402	13	6,4	25	<0,03	340	29
Tl	138	0,33	0,25	0,72	<0,20	1,4	0,29
Zn	402	562	370	1170	28	5800	617

Tab. 13: Freiburger Mulde - Oberboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	93	6,3	6,2	7,0	4,6	7,3	0,57
As	93	116	76	302	1,3	590	128
Cd	93	2,6	1,6	5,5	<0,10	27	3,7
Cu	93	52	42	126	8,0	200	42
Pb	93	259	170	512	18	1300	290
Sb	93	3,2	2,1	7,8	<0,03	17	3,9
Tl	38	0,23	0,16	0,52	<0,20	1,0	0,19
Zn	93	297	220	566	61	1300	270

Tab. 14: Freiburger Mulde - Oberboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	252	5,4	5,4	6,5	3,5	7,7	0,76
As	252	363	220	794	5,9	4600	505
Cd	252	7,3	4,3	19	<0,10	51	8,4
Cu	252	136	100	300	8,1	1400	149
Pb	252	920	600	1900	18	13000	1255
Sb	252	16	8,5	29	0,25	340	35
Tl	84	0,38	0,28	0,91	<0,20	1,4	0,33
Zn	252	685	580	1200	55	5800	690

Tab. 15: Freiburger Mulde - Oberboden Forst, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	44	3,8	3,5	4,9	2,9	7,5	0,83
As	44	359	155	860	8,3	3400	610
Cd	44	2,3	0,28	8,7	<0,10	21	4,4
Cu	44	90	44	275	4,5	530	125
Pb	44	970	585	2450	38	5000	1126
Sb	44	15	8,1	42	<0,03	97	20
Tl	13	0,31	0,28	0,75	<0,20	0,97	0,22
Zn	44	322	140	1000	28	1700	395

Tab. 16: Freiburger Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	380	5,6	5,7	6,8	3,2	7,8	0,96
As	380	317	130	819	0,81	3300	474
Cd	380	5,0	1,7	13	<0,10	120	9,3
Cu	380	120	58	290	3,7	1800	179
Pb	380	907	350	2380	2,3	19000	1637
Sb	380	9,8	3,7	26	<0,03	180	16
Tl	116	0,32	0,23	0,66	<0,20	1,9	0,34
Zn	380	536	300	1200	30	5800	633

Tab. 17: Freiburger Mulde - Unterboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	92	6,3	6,4	7,1	4,4	7,3	0,58
As	92	99	35	317	0,81	810	155
Cd	92	1,6	0,97	3,1	<0,10	18	2,7
Cu	92	41	22	107	4,2	230	48
Pb	92	238	81	827	2,3	2900	467
Sb	92	2,7	1,1	7,0	<0,03	31	4,9
Tl	36	0,23	0,24	0,36	<0,20	0,36	0,11
Zn	92	224	140	480	38	1600	262

Tab. 18: Freiburger Mulde - Unterboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	243	5,6	5,5	6,8	3,8	7,8	0,81
As	243	380	210	960	2,1	3300	500
Cd	243	6,5	2,9	15	<0,10	120	11
Cu	243	145	81	322	3,7	1800	198
Pb	243	1037	500	2560	16	11000	1431
Sb	243	12	6,8	29	<0,03	180	18
Tl	75	0,37	0,26	0,81	<0,20	1,9	0,38
Zn	243	660	450	1400	45	5800	703

Tab. 19: Freiburger Mulde - Unterboden Forst, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	34	4,2	3,9	4,9	3,2	7,6	0,95
As	34	330	82	1250	6,6	2000	530
Cd	34	2,3	0,49	8,8	<0,10	15	3,7
Cu	34	133	39	560	6,3	700	198
Pb	34	1597	320	6100	15	19000	3562
Sb	34	11	4,2	30	0,09	82	17
Zn	34	377	125	1300	30	1600	465

Tab. 20: Medianwerte (KW) in den Oberböden der Freiburger Mulde

Element in mg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst
pH	5,6	6,2	5,4	3,5
As	160	76	220	155
Cd	2,8	1,6	4,3	0,28
Cu	69	42	100	44
Pb	465	170	600	585
Sb	6,4	2,1	8,5	8,1
Tl	0,25	0,16	0,28	0,28
Zn	370	220	580	140

Tab. 21: Medianwerte (KW) in den Unterböden der Freiburger Mulde

Element in mg/kg	Unterboden gesamt	Unterboden Acker	Unterboden Grünland	Unterboden Forst
pH	5,7	6,4	5,5	3,9
As	130	35	210	82
Cd	1,7	0,97	2,9	0,49
Cu	58	22	81	39
Pb	350	81	500	320
Sb	3,7	1,1	6,8	4,2
Tl	0,23	0,24	0,26	-
Zn	300	140	450	125

Tab. 22: Freiburger Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	401	108	62	258	<25	1800	170
Cd	401	704	190	2200	<2,0	7900	1180
Cr	401	<25	<25	28	<25	260	-
Cu	401	660	210	1200	<25	23000	1939
Mo	401	<15	<15	<15	<15	60	-
Ni	401	357	190	990	<15	2700	434
Pb	401	14000	610	28200	<15	560000	48600
Tl	401	39	18	110	<2,0	300	52
Zn	401	27248	4700	94000	<100	420000	47100

Tab. 23: Freiburger Mulde - Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	93	62	32	146	<25	440	74
Cd	93	136	27	328	<2,0	4700	501
Cr	93	<25	<25	<25	<25	83	-
Cu	93	130	96	252	<25	830	128
Mo	93	<15	<15	<15	<15	22	-
Ni	93	95	36	202	<15	2700	287
Pb	93	126	17	304	<15	2300	309
Tl	93	12	6,0	19	2,0	150	19
Zn	93	4362	560	9120	<100	160000	17462

Tab. 24: Freiburger Mulde - Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	251	108	67	246	<25	1800	161
Cd	251	928	380	2600	<2,0	7900	1310
Cr	251	<25	<25	<25	<25	260	-
Cu	251	717	280	1200	<25	17000	1885
Mo	251	<15	<15	<15	<15	60	-
Ni	251	439	260	1100	<15	2200	455
Pb	251	6660	940	14000	<15	140000	19500
Tl	251	47	24	130	<2,0	250	54
Zn	251	34860	12000	110000	<100	420000	50170

Tab. 25: Freiburger Mulde - Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	44	191	72	495	<25	1700	304
Cd	44	509	77	1500	5,0	4000	922
Cr	44	30	27	55	<25	120	23
Cu	44	1460	460	3250	34	23000	3585
Mo	44	<15	<15	<15	<15	<15	-
Ni	44	436	310	900	32	1800	358
Pb	44	84700	37500	235000	58	560000	116600
Tl	44	39	21	110	2,0	250	49
Zn	44	28460	3900	99000	<100	330000	57500

Tab. 26: Freiburger Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	116	36	<25	91	<25	370	50
Cd	116	398	55	1330	<2,0	6800	952
Cr	116	<25	<25	<25	<25	42	-
Cu	116	472	70	740	<25	14000	1656
Mo	116	<15	<15	<15	<15	25	-
Ni	116	234	75	783	<15	2000	351
Pb	116	3770	175	4180	<15	140000	16000
Tl	116	22	9,4	38	<2,0	280	41
Zn	116	14200	780	53900	<100	180000	32600

Tab. 27: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Freiburger Mulde

Element in µg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst	Unterboden gesamt
As	62	32	67	72	<25
Cd	190	27	380	77	55
Cr	<25	<25	<25	27	<25
Cu	210	96	280	460	70
Mo	<15	<15	<15	<15	<15
Ni	190	36	260	310	75
Pb	610	17	940	37500	175
Tl	18	6,0	24	21	9,4
Zn	4700	560	12000	3900	780

Tab. 28: Freiburger Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)

Element in µg/l	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	138	61	41	141	<1,0	370	65
Cd	138	1,9	<0,50	4,0	<0,50	36	4,8
Cu	138	38	30	80	<10	130	28
Pb	138	44	22	95	<5,0	620	71
Sb	138	5,7	3,4	13	<1,0	61	7,0
Tl	138	<1,0	<1,0	1,6	<1,0	3,8	-
Zn	138	179	72	385	<10	2600	344

Tab. 29: Freiburger Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)

Element in µg/l	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	116	45	18	140	<1,0	430	68
Cd	116	1,8	<0,50	5,8	<0,50	31	4,2
Cu	116	35	23	66	<10	230	34
Pb	116	50	18	180	<5,0	490	82
Sb	116	4,4	1,9	10	<1,0	55	6,9
Tl	116	<1,0	<1,0	1,6	<1,0	3,3	-
Zn	116	114	53	309	<10	1200	175

Die Auenböden der Freiburger Mulde weisen extreme Anreicherungen der Elemente Arsen, Cadmium, Kupfer, Blei und Zink auf. Die Elementanreicherungen treten sowohl im Ober- als

auch im Unterboden auf und weisen ebenfalls auf den Einfluss der Vererzungen im Untergrund hin. Die im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde und Zschopau liegenden Bergbaugelände von Freiberg und Ehrenfriedersdorf liefern die höchste großflächige Bodenbelastung in Sachsen mit den o. g. Elementen. In Freiberg wurden vor allem Ag-, Pb-, Cu- und Zn-Erze mit einem hohen Anteil an As und Cd abgebaut und verhüttet, in Ehrenfriedersdorf – Geyer As-reiche Zinnvererzungen.

Die Arsengehalte liegen bereits in dem größten Teil der Proben flussabwärts nach der Ortslage Weißenborn deutlich über 100 mg/kg, da das Erzgebirge als Arsenprovinz generell höhere Gehalte in den Böden aufweist und südlich Freiberg/Muldenhütten bereits erste Vererzungen auftreten. Nach Muldenhütten, mit seinen im unmittelbaren Uferbereich gelegenen Halden und Hüttenanlagen, steigen die Arsenwerte in den Auenböden auf Maximalwerte von bis zu über 2000 mg/kg an.

Während des Hochwassers im Jahr 2002 wurde aus dem Altlastengebiet Muldenhütten ca. 9000 t belastetes Haldenmaterial abgespült und verlagert. Die Schlämme unterhalb des Altlastenstandortes wiesen damals ebenfalls extrem hohe Arsen- und Schwermetallgehalte auf, die sich flussabwärts zwar abschwächten, aber auch noch in der Vereinigten Mulde in relativ hohen Konzentrationen nachweisbar waren. Schlammproben bei Döbeln wiesen immer noch bis zu 900 mg/kg As, 20 mg/kg Cd und 1900 mg/kg Pb auf (RANK et al., 2005). Nach GREIF et al. (2003) treten die höchsten mittleren As-Gehalte in den Bachsedimenten in den Teileinzugsgebieten des Münzbachs (107 mg/kg) und des Mittellaufs der Freiburger Mulde (198 mg/kg) im unmittelbaren Lagerstättenbezirk auf.

Auch im weiteren Verlauf des Flusses bleiben die Arsengesamtgehalte auf einem sehr hohen Niveau. Bis Rothenfurth treten gehäuft noch Proben mit Gehalten >1000 mg/kg As auf. Die Proben in unmittelbarer Flussnähe haben über die gesamte beprobte Flusslänge durchgängig Maximalwerte von mehreren hundert mg/kg. Die flussfernsten Proben der Catenen erreichen dagegen, außer im Freiburger Lagerstättenrevier, durchaus Gehalte unter 50 mg/kg As. Insgesamt sind die Proben auf den Catenen im gesamten Gebiet, bedingt durch den kleinräumigen Wechsel der Auenmorphologie und des Substrates z. T. starken Gehaltsschwankungen unterworfen.

Nach dem Zufluss der Zschopau kommt es noch einmal zu einem leichten Anstieg der Gehalte. Das letzte Profil vor dem Zusammenfluss mit der Zwickauer Mulde liefert ebenfalls noch As-Gehalte in den Böden zwischen 200 und 500 mg/kg.

Ähnlich verhalten sich die Anreicherungen beim Element Cd. Die Gehalte in den Ober- und Unterböden sind auch bereits nach der Ortslage Weißenborn erhöht. In den Proben zwischen Muldenhütten und Halsbach treten u. a. Cd-Gehalte zwischen 20 und 50 mg/kg auf. Nach der Ortslage Halsbrücke sinken die Werte im Durchschnitt wieder unter 10 mg/kg. Analog zu As treten auch bei Cd über die gesamte Flusslänge Proben mit hohen Gehalten zwischen 5 und 15 mg/kg Cd auf. Sie liegen meist in unmittelbarer Flussnähe und werden demzufolge häufiger überschwemmt. Die flussferneren Proben haben deutlich niedrigere Gehalte.

Die Bleigehalte sind ebenfalls bereits nördlich Weißenborn stark erhöht. Im Bereich Muldenhütten/Hilbersdorf erreichen sie Maximalwerte von bis zu 5000 mg/kg im Oberboden. Die Freiburger Mulde tritt hier in das Freiburger Lagerstättenrevier mit seinen Pb-Zn- Vererzungen ein und verlässt es erst wieder hinter Obergruna vor dem Zusammenfluss mit der Bobritzsch. Die Werte fallen dann im weiteren Flussverlauf langsam ab. Bis Nossen treten in Flussnähe noch Gehalte über 2000 mg/kg auf und bis Döbeln Gehalte von 1000 mg/kg. Nach dem Zufluss der Zschopau sinken die Bleigehalte in den Auenböden weiter ab. In Flussnähe treten bis zum Zusammenfluss mit der Zwickauer Mulde immer noch Bleigehalte zwischen 400 und 1000 mg/kg auf. Die höchsten Gehalte in den Bachsedimenten führen analog zum

Arsen die Teileinzugsgebiete des Münzbachs und des Mittellaufs der Freiburger Mulde (PÄLCHEN et al. 1998).

Die Zinkgehalte erreichen im Freiburger Raum Maximalwerte bis zu 5000 mg/kg. Flussabwärts von Rosswein sinken die Gehalte ab und pendeln sich in Flussnähe um 200 bis maximal 900 mg/kg ein. Die flussferneren Proben haben Werte <250 mg/kg Zn.

Die Gesamtstatistik der KW-Gehalte liefert für die Oberböden einen Median von 160 mg/kg Arsen mit einem Maximum von 4600 mg/kg, einen Median für Cadmium von 2,6 mg/kg mit einem Maximum von 27 mg/kg, einen Median für Blei von 465 mg/kg mit einem Maximum von 13000 mg/kg und einen Median für Zn von 370 mg/kg (Max 5800 mg/kg). Die Medianwerte fallen in den Unterböden nur leicht ab, die Maxima für Cd (120 mg/kg) und Blei (19000 mg/kg) übersteigen jedoch die der Oberböden. Die 90er Percentile und die Standardabweichungen sind wegen der starken Schwankungen innerhalb der Datenkollektive, u. a. verursacht durch extreme Maximalwerte im unmittelbaren Lagerstätten- und Hüttenbereich Freibergs und Minimalwerte in den Randlagen der Auen ebenfalls sehr hoch.

Es zeigt sich auch hier wieder die starke Differenzierung der Gehalte in Abhängigkeit von der Nutzung. Die Oberböden unter Grünland haben sehr viel höhere Arsen-, Cadmium-, Kupfer-, Blei und Zinkgehalte als die Ackerstandorte. Der Mediangehalt von 220 mg/kg As der Böden unter Grünland überschreitet den Maßnahmenwert von 50 mg/kg um das 4,5-fache. Auf den Forststandorten treten ähnlich hohe Arsen- und Bleigehalte wie im Grünland auf, die Cadmiumgehalte sind dagegen extrem niedrig. Durch die niedrigen pH-Werte von 3,5 ist davon auszugehen, dass große Teile des Cadmiums, aber auch des Zinks bereits gelöst und in tiefere Horizonte verlagert bzw. weggeführt wurden. Interessant sind auch die relativ hohen Antimonergehalte in den Oberböden unter Forst- und Grünlandnutzung. Antimon ist ein über Hüttenprozesse und Metallverarbeitung über den Luftpfad anthropogen eingetragenes Element und erfährt so in den Oberböden eine Anreicherung. Auf Ackerstandorten sorgt die regelmäßige Bodenbearbeitung für eine Vermischung mit weniger belastetem Material.

Ähnliche Verhältnisse herrschen auch in den Unterbodenhorizonten vor. Das Datenkollektiv wurde hier probeweise ebenfalls in die einzelnen Nutzungskategorien unterteilt und ausgewertet. Die Königswassergehalte liegen bis auf As im Unterboden niedriger als im Oberboden. Es zeigt sich aber ebenfalls die gleiche deutliche nutzungsabhängige Differenzierung wie im Oberboden.

Die Gehalte in den Ammoniumnitratauszügen sind auch für As, Cd, Cu, Pb und Zn im Oberboden deutlich erhöht. Besonders Cadmium und Blei erreichen Medianwerte, die bei Acker- bzw. Grünlandnutzung fast im Bereich der Maßnahmenwerte liegen. Interessant ist auch hier der Einfluss des pH-Wertes auf die Löslichkeit. Beim Element Pb steigert sich der mobile Gehalt für Blei von 17 µg/kg (Acker) über 940 µg/kg (Grünland) bis hin zu 37500 µg/kg auf Forststandorten. Grünland- und Forststandorte haben in etwa ähnliche Bleigesamtgehalte. Ähnlich verhält es sich bei Arsen. Bei Cd und Zn treten die höchsten AN-Gehalte auf Grünlandstandorten auf, die aber auch gleichzeitig die höchsten Gesamtgehalte aufweisen. Die Ackerstandorte haben auf Grund der relativ hohen pH-Werte und der in Relation niedrigen Gesamtgehalte die niedrigsten AN-Gehalte der Oberbodenhorizonte, die auch fast immer deutlich unter denen des Unterbodens liegen.

Generell ist dazu noch anzumerken, dass die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen starken Differenzierungen nicht alleine durch die Nutzung sondern auch durch die räumliche Verteilung von Acker- und Grünlandflächen in der Aue begünstigt werden. Es treten in schmalen Auen und in den höher belasteten ufernahen Bereichen prozentual deutlich mehr Grünland- als Ackerflächen auf, da in diesen Gebieten der Ackerbau wegen der möglichen Überschwemmungsgefahr eingeschränkt ist. Die Ackerstandorte sind demzufolge häufig auf

die breiteren bzw. höher gelegenen und dadurch weniger überschwemmten und somit auch weniger belasteten Bereiche der Flussauen konzentriert. Dieser Effekt wird zudem dadurch verstärkt, dass durch die dauerhafte Grünlandvegetation bei Überflutung die bodennahe Strömung stark vermindert wird, so dass auf Grünlandflächen deutlich mehr Gewässersedimente abgelagert werden.

Den Maßnahmenwert für Arsen im Grünland nach BBodSchV von 50 mg/kg überschreiten im Gebiet der Freiburger Mulde 83,8 % aller Grünlandstandorte. Der Empfehlungswert für Cd von 2 mg/kg, ab dem die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft eine Untersuchung der Grünlandaufwüchse empfiehlt (LFL 2006), wird von 66 % der Proben überschritten, der Maßnahmenwert von 20 mg/kg von 7,5 % der Grünlandproben. 20,6 % der Proben liegen über dem Maßnahmenwert von 1200 mg/kg Pb. Den Maßnahmenwert für Schafbeweidung von 200 mg/kg Cu überschreiten 16,7 % der beprobten Grünlandstandorte.

Ähnlich ist die Situation auf den Ackerstandorten. Den Prüfwert für Böden mit reduzierenden Verhältnissen von 50 mg/kg As überschreiten 59,4 % der Proben, den Prüfwert von 200 mg/kg As 19,8 %. Über dem Maßnahmenwert für Brotweizenanbau von 40 µg/kg Cd im Ammoniumnitratextrakt liegen 44,8 % der Ackerproben, über dem Maßnahmenwert von 100 µg/kg 22,9 %. Der Prüfwert für Nutzgärten von 2 mg/kg Cd wird von 40,6 % der Proben überschritten. Den Prüfwert für Blei (100 µg/kg im AN-Extrakt) überschreiten 29,2 % der Proben auf Ackerstandorten. Die Prüfwertüberschreitungen für Thallium sind mit 2,1 % nur sehr gering.

Insgesamt kommt es im Bereich der Freiburger Mulde zu massiven Überschreitungen von Prüf-, Maßnahmen- und Empfehlungswerten für den Pfad Boden – Pflanze und den mit zu betrachtenden Direktpfad bei Kleingärten im Auenbereich.

4.3 Zschopau

Die Beprobung der Zschopauaue erfolgte in den Jahren 2002 und 2005. 2002 wurde nur der im Landkreis Freiberg gelegene Abschnitt der Zschopauaue beprobt. Der restliche Teil von Schlettau bis zur Einmündung in die Freiburger Mulde (ohne Landkreis Freiberg) folgte im Jahr 2005.

Tab. 30: Zschopau - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	456	5,2	5,2	6,4	2,8	7,7	0,86
As	456	217	120	530	8,8	1300	235
Cd	456	1,3	1,0	2,7	<0,10	8,3	1,1
Cu	356	55	44	110	4,0	300	45
Pb	456	124	104	212	12	918	88
Sb	65	2,5	1,9	3,8	<0,03	30	3,7
Tl	65	0,37	0,33	0,68	<0,20	0,95	0,21
Zn	356	242	210	430	27	1100	153

Tab. 31: Zschopau - Oberboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	75	5,4	5,3	6,2	4,1	6,8	0,58
As	75	337	293	694	10	1100	272
Cd	75	0,89	0,77	1,6	0,17	2,8	0,54
Cu	74	49	45	83	7,9	110	26
Pb	75	98	89	164	20	220	49
Sb	25	2,1	1,8	4,0	0,08	6,1	1,3
Tl	25	0,37	0,37	0,66	<0,20	0,69	0,19
Zn	74	212	210	300	61	370	67

Tab. 32: Zschopau - Oberboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	244	5,1	5,1	5,9	3,1	7,7	0,61
As	244	220	120	510	8,8	1300	245
Cd	244	1,4	1,1	2,7	<0,10	5,5	1,0
Cu	216	63	46	140	10	300	52
Pb	244	129	100	230	15	770	92
Sb	37	2,7	1,9	3,9	<0,03	30	4,7
Tl	37	0,38	0,33	0,73	<0,20	0,95	0,23
Zn	216	271	220	473	60	1100	173

Tab. 33: Zschopau - Oberboden Forst, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	28	3,6	3,4	4,8	2,8	4,9	0,56
As	28	86	56	222	11	280	75
Cd	28	0,44	0,16	1,1	<0,10	5,2	1,1
Cu	27	24	15	65	4,0	110	25
Pb	28	89	90	144	29	190	41
Zn	27	103	67	252	27	540	110

Tab. 34: Zschopau - Oberboden Nutzgarten, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	64	6,3	6,3	7,2	4,8	7,5	0,68
As	64	193	102	530	9,0	802	202
Cd	64	1,5	1,3	2,9	<0,10	3,8	0,86
Pb	64	158	131	266	12	918	126

Tab. 35: Zschopau - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	360	5,1	5,2	6,0	2,8	7,0	0,71
As	360	252	115	678	6,1	1600	306
Cd	360	1,0	0,63	2,4	<0,10	6,6	1,0
Cu	360	51	37	119	3,2	320	46
Pb	360	98	69	229	9,6	590	91
Sb	69	1,4	1,4	2,8	<0,03	5,0	1,1
Tl	69	0,33	0,30	0,70	<0,20	0,88	0,23
Zn	360	220	180	420	29	1200	155

Tab. 36: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Zschopau

Element in mg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst	Oberboden Nutzgarten	Unterboden gesamt
pH	5,2	5,3	5,1	3,4	6,3	5,2
As	120	293	120	56	102	115
Cd	1,0	0,77	1,1	0,16	1,3	0,63
Cu	44	45	46	15	-	37
Pb	104	89	100	90	131	69
Sb	1,9	1,8	1,9	-	-	1,4
Tl	0,33	0,37	0,33	-	-	0,30
Zn	210	210	220	67	-	180

Tab. 37: Zschopau - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	356	52	<25	120	<25	960	85
Cd	356	127	80	313	<2,0	930	145
Cr	291	<25	<25	28	<25	122	-
Cu	356	160	100	350	<25	1400	186
Mo	291	<15	<15	<15	<15	31	-
Ni	291	640	350	1480	<15	8700	966
Pb	356	733	110	1530	<13	22000	2130
Sb	65	2,7	<2,5	4,7	<2,5	23	3,6
Tl	356	18	14	36	<2,0	110	17
Zn	356	6280	3100	18000	<100	65000	9000

Tab. 38: Zschopau - Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	74	89	50	220	<25	690	112
Cd	74	63	44	170	<2,0	310	69
Cr	49	<25	<25	<25	<25	122	-
Cu	74	123	75	210	<25	930	170
Mo	49	<15	<15	<15	<15	<15	-
Ni	49	174	97	400	<15	1400	240
Pb	74	305	23	500	<13	5600	965
Sb	25	2,7	<2,5	5,7	<2,5	18	3,5
Tl	74	8,0	7,0	17	<2,0	35	6,8
Zn	74	2750	1200	8400	<100	18000	3830

Tab. 39: Zschopau - Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	216	37	<25	89	<25	510	51
Cd	216	153	99	383	<2,0	930	160
Cr	179	<25	<25	<25	<25	120	-
Cu	216	180	120	445	<25	1400	207
Mo	179	<15	<15	<15	<15	19	-
Ni	179	780	400	2000	<15	8700	1160
Pb	216	347	110	853	<13	6800	723
Sb	37	2,6	<2,5	3,5	<2,5	23	3,8
Tl	216	22	18	43	<2,0	100	18
Zn	216	7260	3700	19300	<100	65000	9600

Tab.: 40: Zschopau - Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	27	65	46	162	<25	220	59
Cd	27	82	45	250	6,3	470	110
Cr	25	43	42	88	<25	110	26
Cu	27	165	130	360	<25	580	140
Mo	25	<15	<15	<15	<15	<15	-
Ni	25	575	530	1180	81	1300	318
Pb	27	5570	2700	12000	170	22000	5350
Tl	27	11	9,9	24	<2,0	28	7,3
Zn	27	6540	3000	24600	400	55000	11500

Tab. 41: Zschopau - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	360	46	<25	83	<25	1600	130
Cd	360	115	59	280	<2,0	2300	190
Cr	291	<25	<25	<25	<25	150	-
Cu	360	190	82	430	<25	4800	400
Mo	291	<15	<15	<15	<15	19	-
Ni	291	580	250	1400	<15	8600	977
Pb	360	490	90	1290	<13	8500	1140
Sb	69	<2,5	<2,5	3,8	<2,5	20	-
Tl	360	19	14	43	<2,0	146	20
Zn	360	4500	1500	11000	<100	66000	8600

Tab. 42: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Zschopau

Element in µg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst	Unterboden gesamt
As	<25	50	<25	46	<25
Cd	80	44	99	45	59
Cr	<25	<25	<25	42	<25
Cu	100	75	120	130	82
Mo	<15	<15	<15	<15	<15
Ni	350	97	400	530	250
Pb	110	23	110	2700	90
Sb	<2,5	<2,5	<2,5	-	<2,5
Tl	14	7,0	18	9,9	14
Zn	3100	1200	3700	3000	1500

Tab. 43: Zschopau - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)

Element in µg/l	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	65	87	19	240	<1,0	690	140
Cd	65	0,68	<0,50	1,8	<0,50	6,2	0,94
Cu	65	30	27	52	<10	83	17
Pb	65	20	8,7	22	<5,0	350	55
Sb	65	1,2	<1,0	2,4	<1,0	8,8	1,5
Tl	65	<1,0	<1,0	1,6	<1,0	4,6	-
Zn	65	89	53	206	13	380	89

Tab. 44: Zschopau - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)

Element in µg/l	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	69	87	17	250	<1,0	1300	190
Cd	69	<0,50	<0,50	0,68	<0,50	2,5	-
Cu	69	23	21	51	<10	74	16
Pb	69	14	7,1	26	<5,0	200	28
Sb	69	<1,0	<1,0	2,1	<1,0	8,6	-
Tl	69	<1,0	<1,0	2,3	<1,0	3,6	-
Zn	69	68	34	120	<10	650	108

Im Einzugsgebiet der Zschopau liegen die Lagerstättenreviere von Annaberg - Marienberg sowie von Ehrenfriedersdorf - Geyer. Die vorherrschenden Mineralisationen in diesen Gebieten sind arsenführende Ag-, Bi-, Co-, U-, Ni- sowie Sn-, W- Vererzungen. Die Auenböden der Zschopau weisen deutlich erhöhte Gesamtgehalte der Elemente Cadmium und Blei und vor allem Arsen auf.

Die Arsengehalte liegen in den Auenböden flussaufwärts von Schlettau noch unter 50 mg/kg. In Schlettau treten bereits erste Mineralisationen auf und es ist ein leichter Anstieg der Gehalte zu verzeichnen. Mit der Mündung des Geyerbachs und des Greifenbachs in die Zschopau steigen die Arsengehalte in den Böden um ein Vielfaches an, es treten Maximalwerte um 500 – 700 mg/kg As auf. Die beiden Bäche entwässern die Zinn-Wolfram-Lagerstättenbereiche von Ehrenfriedersdorf - Geyer, die neben Sn und W ebenfalls einen sehr hohen Anteil an Arsenenzen führen. Bei Wiesa mündet die Sehma in die Zschopau, die das gesamte Annaberger Bergbaurevier entwässert. Arsen tritt auch in der dort vorherrschenden Bi-Co-Ni-Formation als Begleitelement auf und die Arsengehalte in den Auensedimenten bleiben hoch. Nach dem

Zufluss der Preßnitz, die z. T. das Wolkenstein-Marienberger Bergbaurevier entwässert, sinken die Arsenwerte in den Auenböden wieder leicht ab. Für das Teileinzugsgebiet der Preßnitz werden von PÄLCHEN et al. (1998) ebenfalls relativ niedrige As-Mediangehalte in den Bachsedimenten angegeben.

Die Gehalte in den Auenböden liegen bis zur Ortslage Zschopau größtenteils unter 100 mg/kg As. Die Flussaue ist in diesem Bereich nur sehr schmal. Es bestehen kaum Möglichkeiten zur Ablagerung von Auensedimenten größerer Mächtigkeiten. Die Gehalte in diesem Flussabschnitt repräsentieren eher die Hintergrundgehalte der umgebenden Gneise und kambrischen Glimmerschiefer. Flussabwärts steigen die Arsengehalte nach der Ortslage Zschopau wieder deutlich an. Die Aue wird breiter und erreicht zwischen Flöha und Frankenberg ihre maximale Ausdehnung. Die umgebenden Gesteine in diesem Flussabschnitt sind größtenteils Rotliegendensedimente, welche selbst höhere As-Gehalte aufweisen. Die größere Überflutungshäufigkeit und der breitere Ablagerungsbereich tragen dazu bei, dass in Flussnähe wieder sehr hohe As-Gehalte auftreten. Da der Auenabschnitt bei Frankenberg als einer der wenigen überwiegend landwirtschaftlich genutzt wird, liegt der As-Medianwert für die ackerbaulich genutzten Oberböden deutlich über dem Wert der anderen Nutzungen (Tab. 36). Nach PÄLCHEN et al. (1998) weisen die Bachsedimente der Flöha vor Eintritt in die Zschopau in ihrem Unterlauf ebenfalls erhöhte As-Gehalte auf. Nördlich von Frankenberg tritt in den Bachsedimenten ein kleines lokales As-Maximum auf. (GREIF et al. 2003).

Beim Durchfluss der Zschopau durch das Granulitgebirge von Frankenberg bis Waldheim sinken die As-Gehalte in den Auenböden wieder ab. Die Aue weist auch hier kaum breitere Bereiche auf. Vor dem Eintritt der Zschopau in die Freiburger Mulde steigen die Gehalte in Flussnähe (bei Weitung der Aue) erneut an und erreichen Werte zwischen 100 und 200 mg/kg As.

Die Cd-Gehalte liegen im Raum Schlettau meist noch unter bzw. um 1 mg/kg und steigen dann ab Dörfel auf über 2 mg/kg Cd an. Hier treten bereits untergeordnet Erzgänge der Quarz-Sulfid-Formation mit Ag-, Pb-, Zn-Vererzungen und damit auch mit höheren Cd-Gehalten auf. Die ehemals im Raum Geyer abgebauten polymetallischen Skarne sorgen ebenfalls für eine Cd-Belastung der Auenböden. Die Gehalte schwanken innerhalb der Catenen relativ stark, es treten sehr häufig hohe neben niedrigen Gehalten auf. Die Gehalte streuen im Durchschnitt zwischen 0,5 und 4 mg/kg Cd. Nach der Einmündung der Preßnitz bis zur Ortslage Zschopau sinken die Gehalte tendenziell wieder, was mit dem bereits beim Element Arsen beschriebenen sehr schmalen Auenabschnitt zusammenhängen könnte. Flussabwärts von Zschopau steigen die Gehalte noch einmal an, um dann ab Flöha generell abzusinken. Gehalte oberhalb von 2 mg/kg treten ab dort nur noch im unmittelbaren Uferbereichen auf.

Die Bleigehalte steigen nach Einmündung des Geyerbachs und der Sehma in die Zschopau in den Auenböden auf über 100 mg/kg an. Es werden selten Werte oberhalb 250 mg/kg Pb erreicht. Die Bleibelastung der Zschopau nimmt zur Mündung hin tendenziell langsam wieder ab, die flussferneren Proben haben Pb-Gehalte zwischen 50 und 100 mg/kg, die flussnäheren Proben Gehalte etwas über 100 mg/kg.

Die Zinkgehalte steigen auch analog denen von Pb und Cd zwischen Dörfel und dem Zufluss der Preßnitz an und fallen dann langsam wieder ab. Nach PÄLCHEN et al. (1998) weisen die Bachsedimente der Einzugsgebiete des Pöhlbachs und der Wilisch höhere Zinkgehalte (>200 mg/kg) auf. Auenbodenproben mit Gehalten >300 mg/kg treten bis Frankenberg in unmittelbarer Flussnähe auf.

Die Gesamtstatistik weist in den Oberböden Medianwerte für Arsen von 120 mg/kg bei Maximalwerten von 1300 mg/kg auf, für Cadmium von 1,0 mg/kg bei einem Maximum von 8,3 mg/kg und Medianwerte für Blei von 104 mg/kg und für Zink von 210 mg/kg.

Die Medianwerte liegen im Unterboden für As bei 115 mg/kg, für Cd bei 0,63 mg/kg, für Pb bei 69 mg/kg und für Zn bei 180 mg/kg. Im Unterboden kommt es gegenüber dem Oberboden zu einer deutlichen Abnahme der Elemente Cd und Pb.

Betrachtet man die Gehalte im Oberboden in Abhängigkeit von der Nutzung fallen, wie bereits weiter oben beschrieben, die deutlich höheren Gehalte von As auf den Ackerstandorten auf. Die mittleren Arsengehalte sind mit 293 mg/kg mehr als doppelt so hoch wie die Gehalte auf Grünlandstandorten. Die Proben liegen fast ausschließlich in den breiteren und tiefer gelegenen Auenabschnitten westlich von Frankenberg und nördlich von Flöha und Erdmannsdorf. Wahrscheinlich spielt neben den günstigen Sedimentationsbedingungen auch der As- und Fe- Gehalt der umgebenden Rotliegendensedimente (As Bindung an Fe-Oxide) eine Rolle. Auf den z. T. uferfernen und sauren Forststandorten finden sich deutlich geringere Konzentrationen der Elemente As, Cd, Cu und Zn im Oberboden.

Die ammoniumnitratextrahierbaren Gehalte für As sind ebenfalls auf den Ackerstandorten am höchsten, was durch den für Acker niedrigen mittleren pH-Wert von 5,3 ggf. begünstigt wird. Die anderen Elemente haben auf den Grünland- bzw. Forststandorten eine höhere Mobilität. In den Oberböden unter Forst ist ebenfalls wieder die deutliche Zunahme des löslichen Bleis zu beobachten.

Die Medianwerte in den S4-Eluaten weichen im Ober- und Unterboden bis auf Zn nicht deutlich voneinander ab. Cd, Sb und Tl liegen unter der Bestimmungsgrenze.

Vergleicht man die Statistiken der KW-Gehalte der Auenböden der Zschopau mit denen der Freiburger Mulde, erreichen die Arsengehalte in etwa ähnliche Dimensionen, die Gehalte von Cd, Pb und Zn liegen aber in der Zschopauaue deutlich niedriger.

Vor allem bei Arsen und Cd sind in größerem Umfang Prüf- und Maßnahmenwertüberschreitungen nach BBodSchV zu erwarten. 77,4 % der Grünlandproben überschreiten den Maßnahmenwert von 50 mg/kg As und 27 % den Empfehlungswert der LfL von 2 mg/kg Cd, ab dem eine Untersuchung der Aufwüchse vor Futternutzung angeraten wird. Von den 75 auf Ackerflächen entnommenen Proben überschreiten 82,6 % den Prüfwert von 50 mg/kg As für Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen. 62,6 % liegen über dem Prüfwert von 200 mg/kg As. Den Maßnahmenwert von 0,04 mg/kg Cd im Ammoniumnitratextrakt (Brotweizen) überschreiten 53,3 % der Proben, über dem Maßnahmenwert von 0,1 mg/kg Cd (AN) liegen noch 18,6 % der Proben. 25,3 % der Ackerproben überschreiten der Prüfwert für Blei von 0,1 mg/kg (AN). In den Nutzgärten überschreiten von 64 Proben 14 (21,9 %) den Prüfwert für den Direktpfad von 2 mg/kg Cd.

Für das Gebiet der Zschopauaue wurde aufgrund der hohen Belastungen mit Arsen im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz ein Kartenwerk als Grundlage eines möglichen Bodenplanungsgebietes nach § 9 SächsABG angefertigt (BEAK 2007).

4.4 Vereinigte Mulde

In Folge des Hochwasserereignisses und der dabei freigesetzten stark belasteten Schlämme wurden 2003 im Überschwemmungsgebiet der Vereinigten Mulde auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen 2795 Oberboden- und 1272 Unterbodenproben entnommen. Auf der Grundlage der Analysenergebnisse wurde die flächenhafte Verteilung von Arsen- und Schwermetallen im Boden ermittelt und durch die LfL mit zusätzlich 268 Boden-Pflanzenanalysen der Schadstoffübergang in Nahrungs- und Futterpflanzen untersucht. Die Ergebnisse des Pilotprojektes (KLOSE et al. 2005) sind den **Materialien zum Bodenschutz** des LfUG unter dem Titel „*Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung auf schad-*

stoffbelasteten Flächen im Freistaat Sachsen – Pilotprojekt Auenböden Vereinigte Mulde“ im Internet unter <http://www.lfulg.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfulg/lfulg-internet/veroeffentlichungen/verzeichnis/Boden-Geologie/Pilotprojekt-mit%20Anlagen.pdf> veröffentlicht.

Der Vollständigkeit halber werden hier ebenfalls die wichtigsten Tabellen mit den statistischen Kennwerten aufgeführt. Durch die etwas andere Sortierung der Nutzungsarten kann es zu geringen Abweichungen gegenüber den publizierten Daten im o. g. Bericht kommen.

Tab. 45: Vereinigte Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	2795	6,0	6,0	6,7	4,0	9,8	0,57
As	2795	110	88	225	<0,50	724	86
Cd	2795	3,3	1,7	8,0	<0,10	33	4,3
Cu	2795	57	35	130	<1,0	415	51
Hg	2795	0,40	0,19	0,98	<0,01	7,5	0,53
Pb	2795	234	170	500	<3,0	1400	197
Tl	2794	0,58	0,44	0,76	<0,20	25	1,2
Sb	801	3,2	2,9	5,8	<0,30	9,9	1,9
Zn	2795	310	230	620	<25	1500	207

Tab. 46: Vereinigte Mulde - Oberboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	1962	6,2	6,2	6,7	4,1	9,8	0,49
As	1962	94	78	190	<0,50	540	71
Cd	1962	1,9	1,5	3,9	<0,10	17	1,6
Cu	1962	40	31	77	<1,0	280	27
Hg	1962	0,29	0,16	0,53	<0,01	5,4	0,47
Pb	1962	193	140	418	<3,0	1300	162
Sb	276	2,1	1,7	3,9	<0,30	8,3	1,3
Tl	1962	0,49	0,43	0,63	<0,20	12	0,62
Zn	1962	248	210	425	<25	1220	130

Tab. 47: Vereinigte Mulde - Oberboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	789	5,6	5,6	6,2	4,0	7,2	0,52
As	789	146	130	280	<0,50	724	105
Cd	789	6,7	4,4	17	<0,10	33	6,3
Cu	789	98	84	195	7,3	409	69
Hg	789	0,67	0,57	1,3	<0,01	7,5	0,58
Pb	789	328	300	617	<3,0	1380	236
Sb	495	3,8	3,9	6,4	<0,30	9,4	1,8
Tl	788	0,79	0,47	1,0	<0,20	25	1,9
Zn	789	455	420	840	<25	1500	270

Tab. 48: Vereinigte Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	1272	5,8	5,7	6,6	3,8	7,6	0,64
As	1272	153	120	330	1,3	770	120
Cd	1272	3,9	1,9	9,8	<0,07	41	5,0
Cu	1272	64	41	150	<1,0	350	59
Pb	1272	277	200	610	3,1	1800	243
Sb	1272	4,4	2,8	10	<0,30	18	3,7
Sn	1272	12	9,0	24	<0,50	170	9,6
Zn	1272	352	260	750	9,9	1600	260

Tab. 49: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Vereinigten Mulde

Element in mg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Unterboden gesamt
pH	6,0	6,2	5,6	5,7
As	88	78	130	120
Cd	1,7	1,5	4,4	1,9
Cu	35	31	84	41
Hg	0,19	0,16	0,57	-
Pb	170	140	300	200
Sb	2,9	1,7	3,9	2,8
Tl	0,44	0,43	0,47	-
Zn	230	210	420	260

Tab. 50: Vereinigte Mulde - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	2795	25	12	58	<2,5	525	42
Cd	2795	228	35	670	<0,11	5900	504
Cu	2795	173	100	360	<25	8950	317
Pb	2795	365	60	773	<5,0	23000	1156
Tl	2795	11	2,7	29	<1,4	1070	31
Zn	2795	7840	620	27600	<13	160000	16500

Tab. 51: Vereinigte Mulde - Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	1962	20	10	49	<2,5	420	34
Cd	1962	58	21	140	<0,11	1500	114
Cu	1962	105	80	210	<25	5100	144
Pb	1962	130	18	428	<5,0	4300	270
Tl	1962	3,9	<1,4	8,6	<1,4	155	7,7
Zn	1962	1900	270	4620	<13	70000	5210

Tab. 52: Vereinigte Mulde - Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	789	34	18	69	<2,5	520	54
Cd	789	640	360	1700	1,2	5900	785
Cu	789	340	240	580	<25	8950	513
Pb	789	940	340	2000	<5,0	23000	2015
Tl	789	30	16	74	<1,4	1070	52
Zn	789	22295	13000	58000	<13	160000	24300

Tab. 53: Vereinigte Mulde - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
Cd	1272	367	95	1000	<1,0	6400	627
Pb	1272	565	72	1100	<3,0	170000	4923

Tab. 54: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Vereinigten Mulde

Element in µg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Unterboden gesamt
As	12	10	18	-
Cd	35	21	360	95
Cu	100	80	240	-
Pb	60	18	340	72
Tl	2,7	1,2	16	-
Zn	620	270	13000	-

Analog dem Elementspektrum in den Auenböden der Freiburger und Zwickauer Mulde und der Zschopau dominieren auch in den Auenböden der Vereinigten Mulde Anreicherungen von As, Pb und Cd und untergeordnet von Cu und Zn.

Die Arsengesamtgehalte sind über die gesamte Flusslänge relativ hoch und nehmen erst flussabwärts hinter Eilenburg langsam wieder ab. Es treten ab dort weniger Proben mit Werten oberhalb von 200 mg/kg As auf. Generell hohe Gehalte weisen neben den in Flussnähe gelegenen Proben die Bereiche ehemaliger Altarme auf.

Ebenso verhält sich es mit den Cd- und Pb-Gehalten, sie sinken ebenfalls nördlich von Eilenburg bzw. der Anteil an extrem hohen Werten wird geringer.

Die Medianwerte der Königswassergehalte der Oberböden unter Acker liegen fast in demselben Gehaltsbereich wie die der Freiburger Mulde. Der hohe Medianwert der Cd-Gehalte in den Oberböden unter Grünland ist ebenfalls identisch mit dem entsprechenden Wert bei der Freiburger Mulde. Die Maximalwerte und die 90er Percentilwerte liegen jedoch in den Auenböden der Freiburger Mulde deutlich höher. In der Aue der Vereinigten Mulde sind bedingt durch die morphologisch breite Auenstruktur wesentlich mehr Acker- als Grünlandflächen vorhanden. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch in den Probenzahlen wieder. Prozentual wurden hier deutlich mehr Acker- als Grünlandstandorte und keine Waldstandorte beprobt. Die Gesamtstatistik des Oberbodens weist u. a. dadurch auch niedrigere Gehalte an As, Cd und Pb auf, da in die Statistik der Freiburger Mulde deutlich mehr Grünland- als Ackerproben eingehen und diese im Oberboden meist höhere Gehalte an den genannten Elementen aufweisen. Vergleicht man die Gesamtstatistik des Oberbodens mit der des Unterbodens, lässt sich kein deutlicher Abfall der Elementgesamtgehalte nachweisen. Häufig liegen die Gehalte des Un-

terbodens in der Vereinigten Mulde über denen des Oberbodens. In dem Bericht „Pilotprojekt Auenböden der Vereinigten Mulde“ wird ebenfalls angeführt, dass zwischen den Ober- und Unterböden von Ackerstandorten nur geringe Gehaltsunterschiede bestehen und auf Grünlandstandorten bei Pb und As sogar ein deutlicher Gehaltsanstieg in den Unterböden zu verzeichnen ist. Auf Ackerstandorten liegen die Gehalte des Oberbodens nur geringfügig über denen des Unterbodens. Über die Ursachen kann z. Z. nur gemutmaßt werden. Evtl. spielt die Eindeichung der Ackerflächen eine wesentliche Rolle, womit in den letzten Jahrzehnten natürliche Erosion- und Akkumulationsprozesse unterbrochen wurden.

Die Ammoniumnitratgehalte in den Oberböden unter Grünland sind vor allem bei Cd, Cu, Pb und Zn deutlich höher als in den Oberböden unter Acker und weisen auf eine erhöhte Mobilität der Elemente hin. Die im Grünland gegenüber dem Acker deutlich niedrigeren pH-Werte bedingen diese bessere Löslichkeit.

Problematisch erweisen sich in dem Gebiet für den Pfad Boden-Nutzpflanze die As-Gehalte auf Grünlandflächen und die Cd-Gehalte auf den Ackerflächen. Es kommt zu massiven Überschreitungen von Maßnahmen- und Empfehlungswerten und auch in den Ernteprodukten wurden Überschreitungen von Grenzwerten für As, Cd und Pb festgestellt.

Auf den Grünlandflächen überschreiten 80,5 % der Proben den Maßnahmenwert für As, 5,3 % den Maßnahmenwert für Cd und 8,5 % den Maßnahmenwert für Cu (Nutzung für Schafweide). Der Empfehlungswert der LfL für Grünlandnutzung von 2 mg/kg Cd, ab dem eine Untersuchung der Aufwüchse vor Futternutzung angeraten wird (LfL 2006), wird von 74,7 % der Proben überschritten. Ähnlich sieht es bei den Prüf- und Maßnahmenwerten auf Ackerflächen aus. Oberhalb des Prüfwertes für As von 50 mg/kg liegen 73,5 % der Proben, oberhalb des Prüfwertes von 200 mg/kg 8,2 % der Proben. Die Maßnahmenwerte für Cd von 0,04 mg/kg bzw. von 0,1 mg/kg (AN) werden von 31 % und von 13,1 % der Proben überschritten. 28,3 % der Proben liegen über dem Prüfwert für Pb von 0,1 mg/kg (AN).

4.5 Elbe

Die Auenböden der Elbe wurden in zwei zeitlich voneinander getrennten Etappen beprobt. Zuerst erfolgte im Jahr 2000 der Nordteil der Elbaue flussabwärts von nördlich Riesa bis zur Landesgrenze zu Brandenburg. Der Südteil der Elbaue von Riesa bis zur Landesgrenze zu Tschechien wurde im Jahr 2006 beprobt.

Tab. 55: Elbe - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	988	6,1	6,3	6,8	2,9	7,7	0,73
As	988	25	21	47	<1,0	250	18
Cd	988	1,3	0,73	3,3	<0,10	7,3	1,2
Hg	988	0,59	0,28	1,6	0,012	6,4	0,71
Pb	988	68	54	130	<2,0	1200	56
Tl	587	<0,50	<0,50	0,71	<0,50	1,6	-

Tab. 56: Elbe - Oberboden Acker, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	414	6,3	6,3	6,9	4,4	7,7	0,53
As	414	18	16	27	2,0	120	14
Cd	414	0,64	0,53	1,0	0,10	6,0	0,57
Hg	414	0,24	0,16	0,46	0,017	5,7	0,39
Pb	414	45	37	69	<2,0	1200	62
Tl	258	<0,50	<0,50	0,59	<0,50	1,4	-

Tab. 57: Elbe - Oberboden Grünland, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	448	5,9	6,1	6,8	3,6	7,3	0,74
As	448	32	29	55	<1,0	120	16
Cd	448	1,8	1,2	4,0	<0,10	7,3	1,4
Hg	448	0,89	0,61	2,0	0,02	6,4	0,80
Pb	448	85	76	140	4,0	290	42
Tl	264	<0,50	<0,50	0,77	<0,50	1,3	-

Tab. 58: Elbe - Oberboden Forst, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	72	5,5	5,9	6,7	2,9	6,9	1,1
As	72	19	13	44	2,8	85	16
Cd	72	1,2	0,89	2,6	<0,10	4,9	1,0
Hg	72	0,77	0,58	1,8	0,012	4,0	0,77
Pb	72	61	51	120	8,0	220	42
Tl	65	<0,50	<0,50	0,71	<0,50	1,6	-

Tab. 59: Elbe - Oberboden Nutzgarten, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	27	6,3	6,6	7,0	4,6	7,1	0,68
As	27	20	18	36	9,7	38	8,8
Cd	27	1,0	0,69	2,1	0,29	4,6	0,91
Hg	27	0,36	0,26	0,77	0,079	0,98	0,25
Pb	27	122	110	224	31	270	69

Tab. 60: Elbe - Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte

Element in mg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
pH	930	6,2	6,3	6,9	3,3	7,8	0,67
As	930	25	18	54	<1,0	310	26
Cd	930	1,1	0,51	3,1	<0,10	8,5	1,4
Hg	930	0,53	0,20	1,7	<0,01	5,6	0,82
Pb	930	58	37	140	<2,0	750	62
Tl	535	<0,50	<0,50	0,72	<0,50	1,3	-

Tab. 61: Mediangehalte (KW) in den Auenböden der Elbe

Element in mg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst	Unterboden gesamt
pH	6,3	6,3	6,1	5,9	6,3
As	21	16	29	13	18
Cd	0,73	0,53	1,2	0,89	0,51
Hg	0,28	0,16	0,61	0,58	0,20
Pb	54	37	76	51	37
Tl	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Tab. 62: Elbe - Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	581	<25	<25	28	<25	880	-
Cd	581	70	23	180	<2,0	1740	145
Cr	581	<25	<25	27	<25	120	-
Cu	581	140	88	308	<25	1800	157
Mo	581	<15	<15	<15	<15	47	-
Ni	581	344	94	938	<15	8000	709
Pb	581	80	<15	150	<15	3300	264
Tl	581	9,6	5,5	23	<1,0	81	11
Zn	581	5000	1100	13800	<100	110000	10500

Tab. 63: Elbe - Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	256	<25	<25	<25	<25	54	-
Cd	256	21	8,6	48	<2,0	230	35
Cr	256	<25	<25	<25	<25	35	-
Cu	256	63	48	123	<15	340	57
Mo	256	<15	<15	<15	<15	47	-
Ni	256	123	60	333	<15	1600	190
Pb	256	16	<15	40	<15	230	26
Tl	256	3,7	2,2	8,3	<2,0	55	5,3
Zn	256	1180	185	2360	<100	36000	3600

Tab. 64: Elbe - Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	263	<25	<25	33	<25	880	-
Cd	263	116	58	266	<2,0	1740	195
Cr	263	<25	<25	35	<25	100	-
Cu	263	206	170	360	<25	1800	180
Mo	263	<15	<15	<15	<15	21	-
Ni	263	485	220	1300	<15	8000	754
Pb	263	116	22	290	<15	3300	296
Tl	263	13	12	26	<1,0	81	11
Zn	263	8020	3800	20600	<100	110000	12100

Tab. 65: Elbe - Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte

Element in µg/kg	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	62	<25	<25	30	<25	150	-
Cd	62	81	39	200	<1,0	680	114
Cr	62	<25	<25	<25	<25	120	-
Cu	62	172	120	320	<25	1300	192
Mo	62	<15	<15	<15	<15	<15	-
Ni	62	662	165	1710	<15	6100	1340
Pb	62	193	18	850	<15	2600	500
Tl	62	17	16	36	<2,0	52	12
Zn	62	7990	3000	24800	<100	110000	15500

Tab. 66: Mediangehalte (AN) in den Auenböden der Elbe

Element in µg/kg	Oberboden gesamt	Oberboden Acker	Oberboden Grünland	Oberboden Forst
As	<25	<25	<25	<25
Cd	23	8,6	58	39
Cr	<25	<25	<25	<25
Cu	88	48	170	120
Mo	<15	<15	<15	<15
Ni	94	60	220	165
Pb	<15	<15	22	18
Tl	5,5	2,2	12	16
Zn	1100	185	3800	3000

Tab. 67: Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)

Element in µg/l	n	Mittelwert	Median	P90	Min	Max	Std.-abw.
As	526	4,3	1,1	14	<0,10	73	8,1
Cd	518	0,20	<0,10	0,25	<0,10	26	1,2
Cr	526	1,7	1,4	3,3	<1,0	11	1,4
Cu	526	7,1	4,3	18	<1,0	54	7,7
F	526	837	770	1500	<100	3240	505
Hg	526	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	-
Mo	526	2,1	1,1	5,0	<0,50	22	3,1
Ni	526	3,0	2,2	5,1	<1,0	115	5,8
Pb	526	1,8	1,2	3,5	<0,30	28	2,5
Sb	526	0,69	<0,50	1,8	<0,50	6,6	0,78
Se	526	<0,50	<0,50	0,67	<0,50	1,9	-
Sn	526	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	19	-
Zn	526	24	11	33	<1,0	3420	152

Die Auenböden der Elbe unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Belastung deutlich von den Böden des Muldensystems. Vor allem die As-, Cd- und Pb-Gehalte liegen um Größenordnungen niedriger.

Die nord- und südostsächsischen Teileinzugsgebiete der Elbe liefern kaum nennenswerte Elementanreicherungen. Die osterzgebirgischen Flüsse (Müglitz, Weißeritz u. a.) tragen erhöhte As- und Pb-Gehalte aus den Lagerstätten um Altenberg, Zinnwald, Schmiedeberg, Niederpöbel, Schellerhau und Krupka in die Auenböden ein. Durch den Verdünnungseffekt bleiben die Werte in der Elbaue aber insgesamt auf einem niedrigeren Niveau. Einen detaillierten Ü-

berblick über die Elementgehalte der Auenböden vor und nach der Einmündung der Müglitz in die Elbaue liefert die Diplomarbeit von RHODE (2007). Es werden sechs Auenbodenproben der Müglitz mit je zwei elbaufwärts und drei elbabwärts liegenden Auenböden der Elbe in unmittelbarer Nähe der Einmündung der Müglitz in die Elbe verglichen. Die Gehalte von Ag, As, Bi, Cd, Cu, Pb, Sn, U und Zn liegen in den Auenböden der Müglitz deutlich höher als in denen der Elbe flussaufwärts vor Einmündung der Müglitz. Nach der Einmündung steigen auch die Gehalte in den Auenböden der Elbe an, nehmen aber elbabwärts wieder deutlich ab. Bei den Elementen Cr, Co, Ni und Mn verhält es sich umgekehrt. Im Raum Dresden kommt es bedingt durch die industrielle Verschmutzung noch einmal zu einem Anstieg der Arsen- und Schwermetallgehalte in den Auenböden. Besonders das Element Hg erreicht hier sein Konzentrationsmaximum.

Betrachtet man die Elementgehalte über die gesamte beprobte Flusslänge, lassen sich folgende Aussagen treffen.

Die Arsengehalte liegen in den Auenböden der Elbe beim Eintritt in deutsches Gebiet hinter Hřensko (Herrnskretsch) unterhalb 50 mg/kg. Sie steigen dann bei Heidenau nach Einmündung der Müglitz auf Werte zwischen 50 und 125 mg/kg As an. Im gesamten Großraum Dresden treten nur Werte in dieser Gehaltsklasse auf, meist sind die Proben in unmittelbarer Flussnähe davon betroffen. Nach PÄLCHEN et al. (1998) weisen die Bachsedimente der Oberläufe der Teileinzugsgebiete der Roten (119 mg/kg) und der Wilden Weißeritz (86 mg/kg) die höchsten Arsengehalte auf, die in den Unterläufen aber bereits wieder auf ca. 50 mg/kg abfallen. Nach dem Zusammenfluss zur Weißeritz beträgt der Median in den Bachsedimenten nur noch 14 mg/kg As. Ab Radebeul sinken die Werte in den Auenböden fast durchgängig wieder unter 50 mg/kg. In diesem Abschnitt weisen nur noch Einzelproben in Flussnähe bzw. in unmittelbarer Nähe des alten Elbelaufes zwischen Belgern und der Landesgrenze zu Sachsen/Anhalt Werte zwischen 50 und 125 mg/kg As auf.

Das Cadmium ist bereits in den ersten Proben nach der Grenze zu Tschechien etwas erhöht und fällt bei Königstein wieder kurzzeitig auf Werte unter 1 mg/kg. Bis Heidenau treten aber auch vereinzelte Maximalwerte bis 6 mg/kg auf. Nach Eintritt der Müglitz in die Elbe steigen die Werte an und bleiben bis Radebeul auf einem höheren Niveau. Im Raum Dresden kommt es industriebedingt zu weiteren lokalen Erhöhungen. Es treten auch im weiteren Flussverlauf in unmittelbarer Flussnähe bzw. im Bereich größerer Ortschaften und des alten Elbelaufes häufiger Maximalwerte bis 7 mg/kg Cd auf.

Die Bleigehalte liegen in den Auenböden fast durchgängig unter 250 mg/kg. Der größte Teil der Proben liegt dabei unterhalb von 100 mg/kg Blei, so dass keine Überschreitungen von Prüf- und Maßnahmenwerten beim Element Blei zu erwarten sind. Die höchsten Anreicherungen an Pb und Zn liefern wieder die Bachsedimente der Müglitz und der Weißeritz (PÄLCHEN et al. 1998).

Beim Element Quecksilber kann es durch den industriell bedingten Eintrag in die Elbe ebenfalls zu Überschreitungen von Prüf- und Maßnahmenwerten kommen.

Die Elementgehalte in den Oberböden der Elbe liegen in der Regel etwas über denen der Unterböden. Die Mediangehalte (KW) im Oberboden betragen für As 21 mg/kg, für Cd 0,73 mg/kg und für Pb 54 mg/kg. Im Unterboden fallen sie für As auf 18 mg/kg, für Cd auf 0,51 mg/kg und für Pb auf 37 mg/kg ab. Die größten Anreicherungen bei den KW-Gehalten treten in den Oberböden unter Grünland auf. Das Gleiche gilt auch für die mobilen Elementgehalte.

Von den Böden unter Grünlandnutzung überschreiten 13,5 % der Proben den Maßnahmenwert für As von 50 mg/kg nach BBodSchV, 34,2 % der Proben den Empfehlungswert für Cd von 2 mg/kg ab dem eine Untersuchung der Aufwüchse vor Futternutzung angeraten wird (LFL 2006) und 10,9 % der Proben den Maßnahmenwert für Hg von 2 mg/kg. Die Überschreitungen bei den acker- bzw. gartenbaulich genutzten Böden sind dagegen unerheblich. 2,1 % der Proben überschreiten den Prüfwert für As von 50 mg/kg und 9,2 % den Maßnahmenwert für Brotweizenanbau von 0,04 mg/kg Cd - davon liegen 2,4 % über dem Maßnahmenwert von 0,1 mg/kg Cd. 2,4 % der Proben überschreiten weiterhin den Prüfwert von 2 mg/kg Cd für den Direktpfad.

Auf Grundlage der Untersuchungen lässt sich ableiten, dass in der Elbaue nicht das Element Arsen vorrangig ein Problem darstellt, sondern die Elemente Cd und untergeordnet Hg.

5 Vergleichende Auswertungen und Darstellungen

Zur besseren Übersicht werden auf den folgenden Seiten die Elementgehalte in den sächsischen Auenböden in Form einiger Diagramme grafisch dargestellt.

Weiterhin liegen von jedem Flussgebiet Karten mit den Punktdarstellungen der Königswassergehalte der Elemente Arsen, Blei und Cadmium im Maßstab 1 : 50 000 vor. Die Punkte wurden in Abhängigkeit von der Höhe ihrer Gehalte eingefärbt. Die Farbgebung orientiert sich an den für das jeweilige Element geltenden Prüf-, Maßnahmenwerten nach BBodSchV sowie den Empfehlungswerten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL 2006). Für das Gebiet der Vereinigten Mulde erfolgte eine flächenhafte Darstellung der Elementgehalte im Rahmen des Pilotprojektes. Die Karten der As- und Cd-Verteilung auf den Acker- und Grünlandflächen sind unter <http://www.lfug.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/veroeffentlichungen/verzeichnis/Boden-Geologie/Pilotprojekt-mit%20Anlagen.pdf> abrufbar.

In den folgenden Diagrammen werden ausgewählte Elementgehalte der einzelnen Flussgebiete nutzungsunabhängig bzw. für landwirtschaftliche Nutzungen miteinander verglichen. Es handelt sich hierbei in der Regel um die in allen Flussgebieten analysierten Elemente As, Cd, Cu, Pb und Zn mit Ausnahme der Elbe, wo Cu und Zn nicht analysiert wurden.

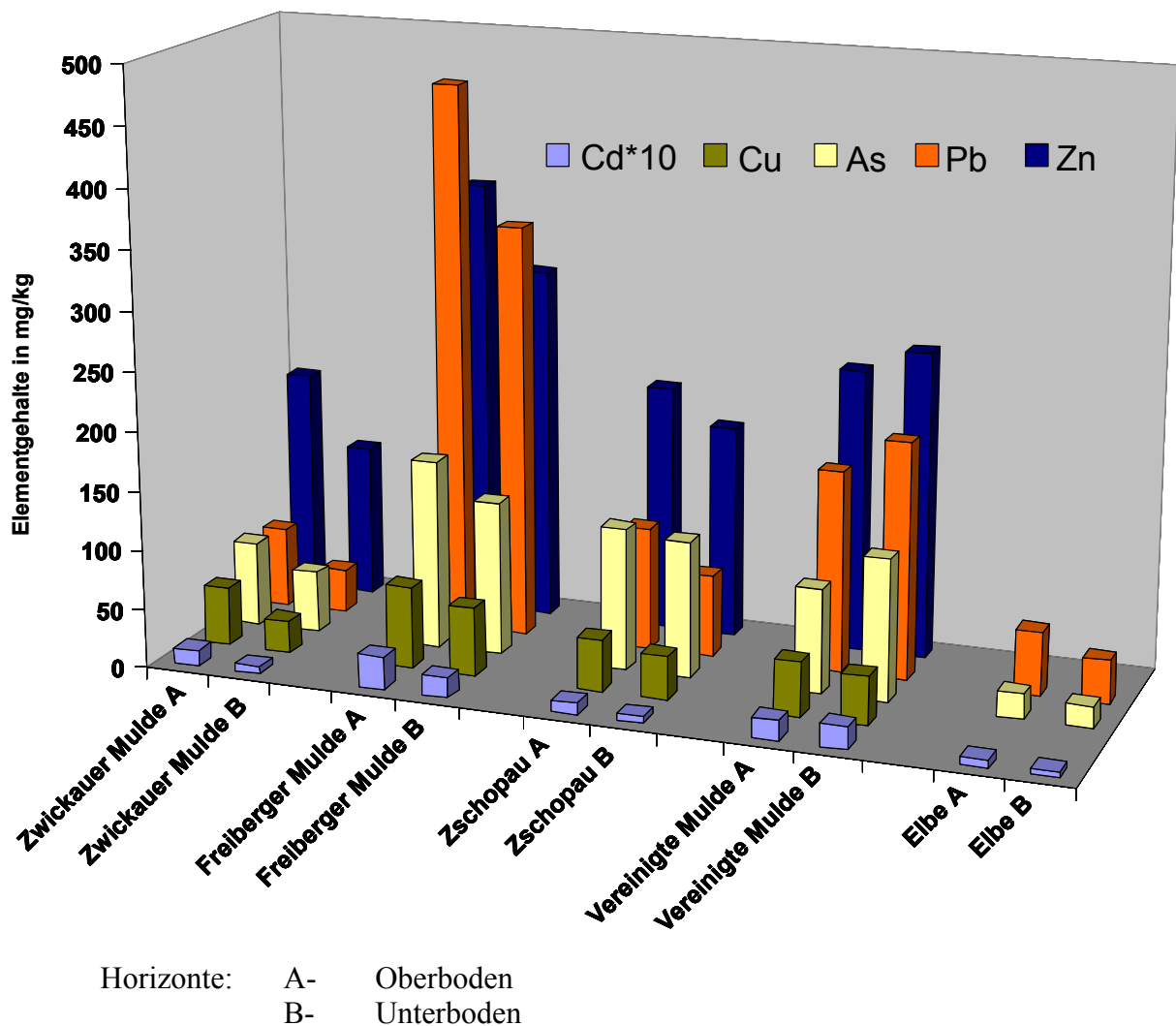


Abb. 3: Mittlere Elementgehalte (Median, KW) in den Ober- und Unterböden ausgewählter sächsischer Auen

Vergleicht man die mittleren Königswassergehalte der Ober- und Unterböden der einzelnen Flusssysteme miteinander, treten die höchsten Elementanreicherungen in den Auenböden der Freiberger Mulde auf. Die Gehalte aller dargestellten Elemente liegen sowohl im Ober- als auch im Unterboden deutlich über denen der anderen Flussgebiete. Besonders intensiv hebt sich das Element Pb ab, das in den Auenböden der Freiberger Mulde noch höhere Gehalte als das Element Zn erreicht.

In etwa mit der Freiberger Mulde vergleichbare As-Gehalte treten in den Auenböden der Zschopau und der Vereinigten Mulde auf, die restlichen dargestellten Elemente liegen in diesen beiden Flusssystemen aber deutlich unter denen der Freiberger Mulde.

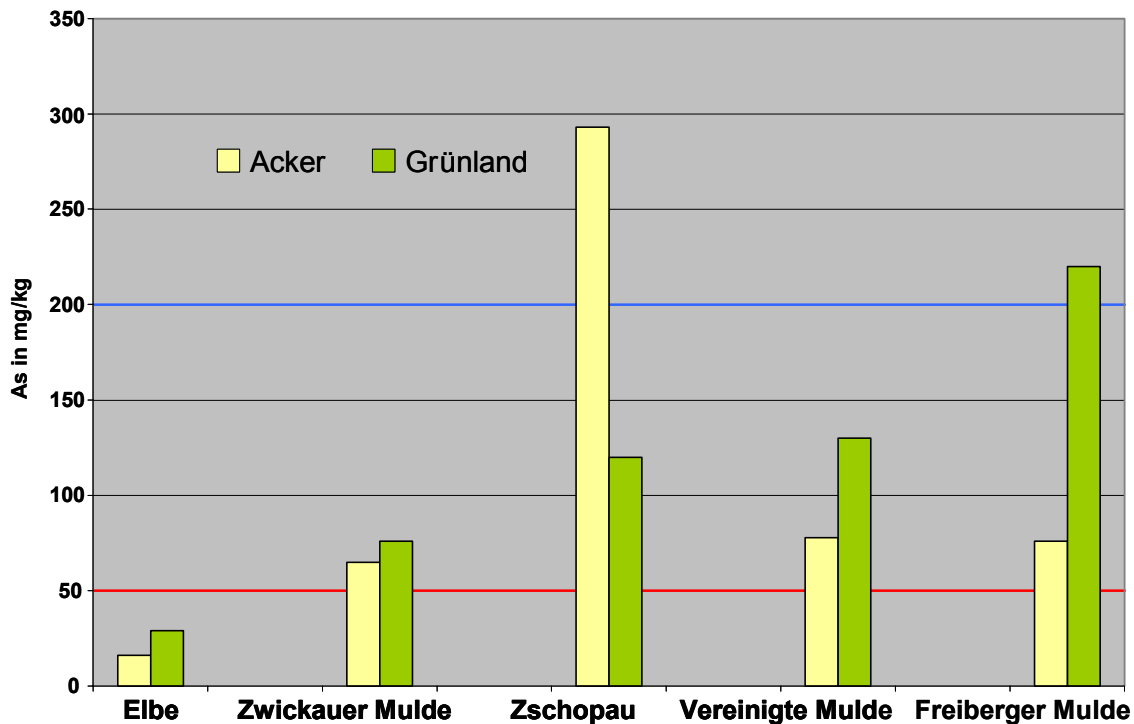
Die Auenböden der Vereinigten Mulde weisen die zweithöchsten Elementanreicherungen auf, gefolgt von den Auenböden der Zschopau. In den Böden der Vereinigten Mulde sieht man anhand der noch relativ hohen Bleigehalte deutlich den stofflichen Einfluss der Freiberger Mulde.

Die Elementgehalte der Böden der Zwickauer Mulde liegen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau und es lässt sich ein deutlicher Abfall der Gehalte vom Ober- zum Unterboden beobachten.

In den Auenböden der Vereinigten Mulde tritt der gegenläufige Effekt ein, die mittleren Gehalte des Oberbodens liegen bei As-, Pb und Zn in der Gesamtstatistik unter denen des Unterbodens. Im Pilotprojekt „Auenböden der Vereinigten Mulde“ wird ebenfalls auf die geringen Gehaltsunterschiede zwischen Ober- und Unterböden hingewiesen.

Die niedrigsten As-, Cd- und Pb- Gehalte sind in den Auenböden der Elbe vorhanden.

In Hinblick auf die Besorgnis der Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch mögliche Belastungen von Futter- und Lebensmitteln sind vor allem die hohen Arsen-, Cadmium und Bleigehalte auf den Acker- und Grünlandflächen von Bedeutung. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die mittleren Gehalte auf diesen Flächen unter dem Aspekt der Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV und Empfehlungswerten der LfL.



— 50 mg/kg, Maßnahmenwert Grünland, Prüfwert Acker mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen nach BBODSCHV (1999)

— 200 mg/kg, Prüfwert Acker nach BBODSCHV (1999)

Abb. 4: Mittlere Arsengehalte (Median, KW) in den Oberböden sächsischer Auen unter Acker- und Grünlandnutzung

Beim Vergleich der As-Gehalte der landwirtschaftlich genutzten Böden in Abb. 4 ist erkennbar, dass bis auf die Auenböden der Elbe die Durchschnittsgehalte alle Flussgebiete den Prüf- bzw. Maßnahmenwert für As von 50 mg/kg z. T. um ein Vielfaches überschreiten. In der Regel liegen die As-Gehalte der Grünlandstandorte noch über denen der Ackerstandorte. Im Gebiet der Zschopau ist das Gegenteil zu beobachten. Das liegt, wie bereits weiter vorn im Text beschrieben, an der Lage der zahlenmäßig wenigen Ackerproben in den breiteren und damit von der Ablagerung stärker betroffenen und somit höher belasteten Auenbereichen der Zschopau. Die Durchschnittsgehalte dieser Proben überschreiten sogar den Prüfwert von 200 mg/kg. Im Gebiet der Freiberger Mulde verursachen die in den hoch belasteten Bereichen prozentual höheren Anteile an Grünlandstandorten einen starken Gehaltssprung zwischen Acker- und Grünlandproben.

Die Abb. 5 veranschaulicht die mittleren Gehalte des Elementes Cd auf den Acker- und Grünlandstandorten.

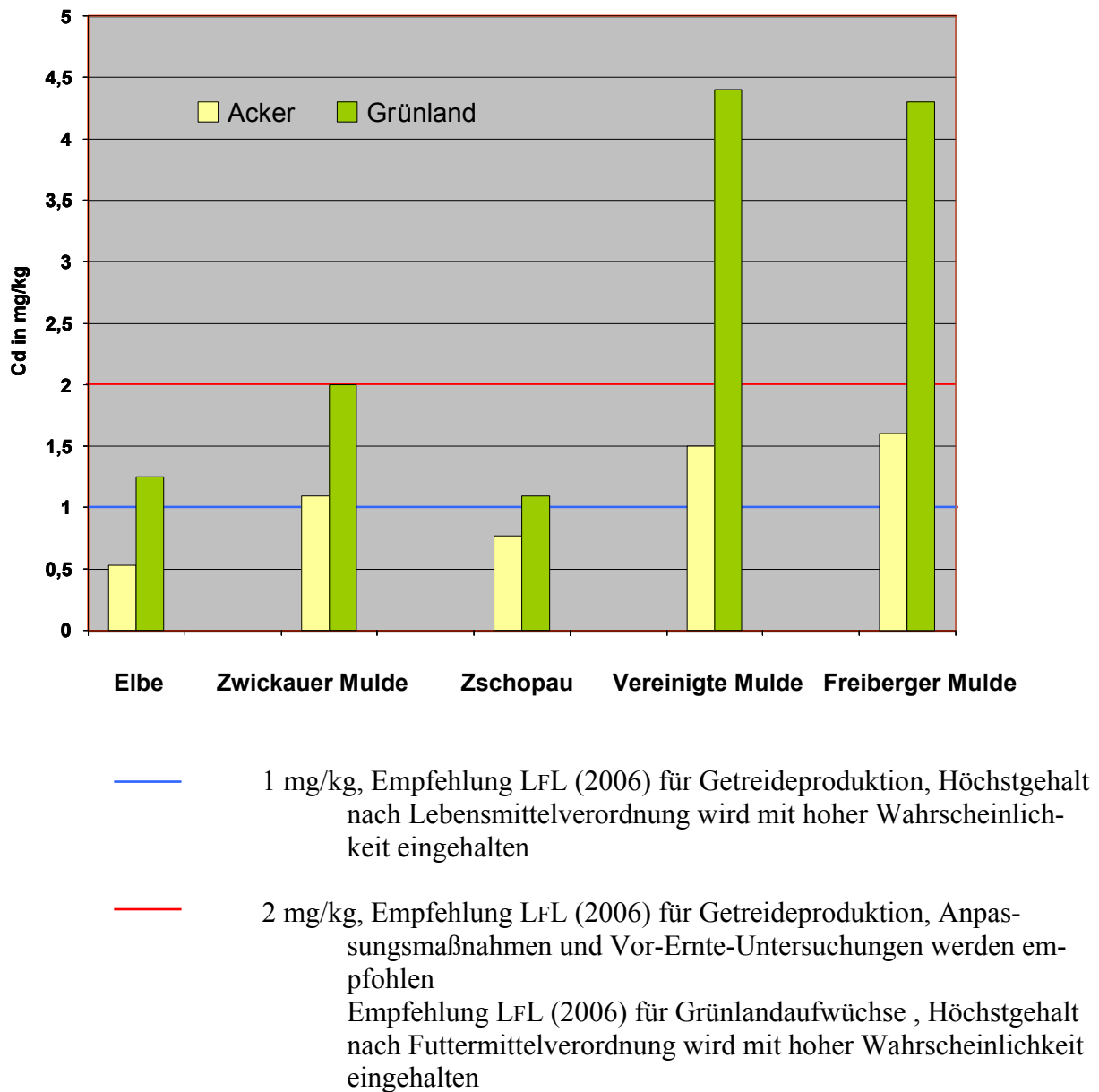


Abb. 5: Mittlere Cadmiumgehalte (Median, KW) in den Oberböden sächsischer Auen unter Acker- und Grünlandnutzung

Das Element Cd ist ebenfalls in den Böden unter Grünland stärker angereichert. Besonders extrem kommen die Gehaltsunterschiede im Gebiet der Freiburger und Vereinigten Mulde zum Ausdruck. Die Gehalte der Grünlandflächen betragen in den Gebieten ca. das 2,5 – 3-fache der Gehalte der Ackerflächen. Die Gehalte im Grünland der Vereinigten Mulde liegen sogar noch geringfügig über denen der Freiburger Mulde. Am geringsten fallen die Gehaltsunterschiede in den Böden der Zschopau aus. Die mittleren Cd-Gehalte der Grünlandstandorte der Zschopau sind noch niedriger als die der Elbaue.

Den Empfehlungswert der LfL für die Getreideproduktion von 1 mg/kg für Cd, der eine Einhaltung der lebensmittelrechtlichen Grenzwerte mit hoher Wahrscheinlichkeit absichert, unterschreiten nur die Medianwerte der Ackerböden der Elbe und der Zschopau. Die Medianwerte aller Auen unterschreiten den Empfehlungswert der LfL für die Getreideproduktion von 2 mg/kg für Cd, der für die Einhaltung lebensmittelrechtlicher Grenzwerte das Ergreifen acker- und pflanzenbaulicher Anpassungsmaßnahmen vorsieht. Es ist aber davon auszugehen, dass im Gebiet der Freiberger und Vereinigten Mulde eine größere Anzahl von Einzelproben diesen Wert überschreitet, da der Median beider Gebiete bereits 1,6 und 1,5 mg/kg Cd beträgt. Der Empfehlungswert für Grünlandaufwüchse von 2 mg/kg, ab dem eine Untersuchung der der Aufwüchse vor Verfütterung angeraten wird, wird von den Medianwerten der Grünlandböden der Vereinigten und Freiberger Mulde überschritten und von den Medianwerten der Zwickauer Mulde erreicht. Die Mediane der Ackerböden bleiben alle unter diesem Wert. Da es sich bei den dargestellten Werten um Mediane handelt, ist aber trotzdem davon auszugehen, dass es in größerem Umfang zu Überschreitungen der Empfehlungswerte in den Böden kommt.

Bei den mobilen Elementgehalten in den Böden unter Ackernutzung (Abb. 6) überschreiten die Durchschnittsgehalte des Elementes Cd der Zschopauaue den Maßnahmenwert für Brotweizenanbau nach BBodSchV. Interessant ist, dass die Ackerböden der Zschopauaue bei deutlich niedrigeren Gesamtgehalten des Elementes Cd (Abb. 4) die höchsten NH_4NO_3 -extrahierbaren Cd-Gehalte aufweisen. Die mobilen As- und Pb-Gehalte liegen bei z. T. hohen Gesamtgehalten (As) ebenfalls deutlich über denen der anderen Flussgebiete. Als mögliche Ursache kann dafür der gegenüber den anderen Flussgebieten um eine Einheit verminderte mittlere pH-Wert gelten.

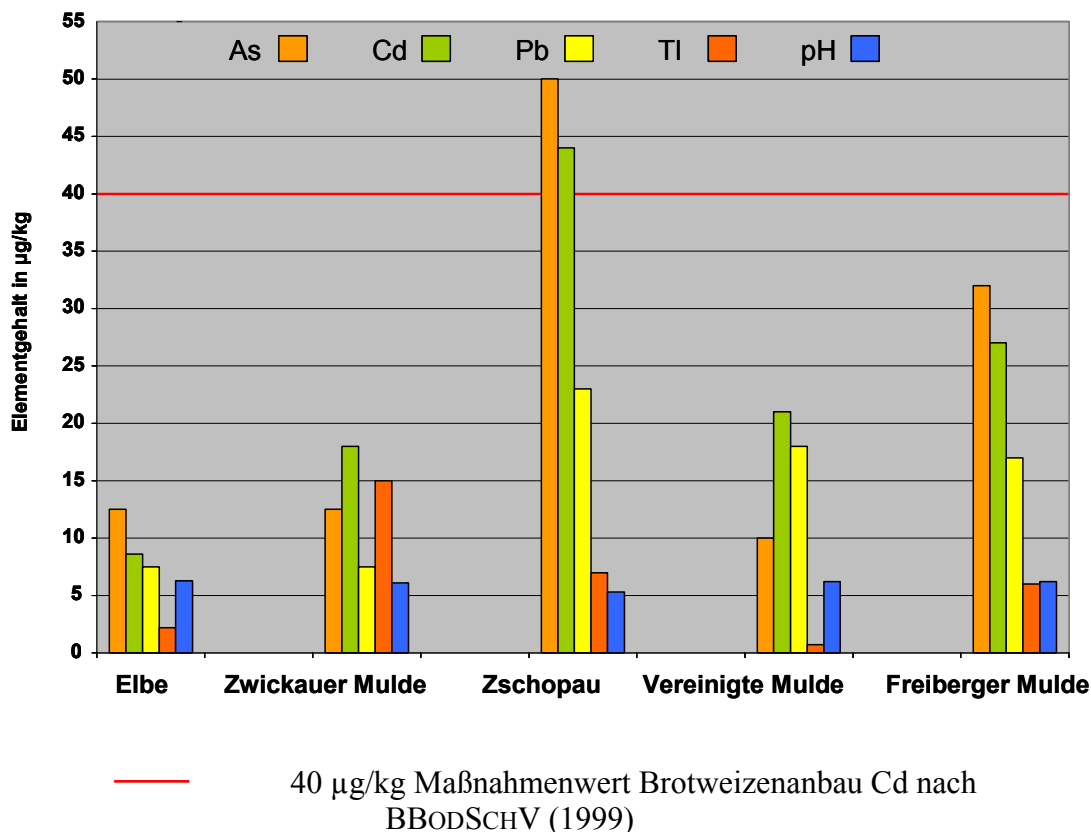


Abb. 6: Mittlere Elementgehalte (Median, AN) und pH-Werte in den Oberböden sächsischer Auen unter Ackernutzung

Die Maßnahmenwerte für Cd, Pb und Tl von 100 µg/kg werden von den Medianwerten nicht erreicht. Die Mediangehalte der Elbaue und der Zwickauer Mulde für As liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 25 µg/kg. Im Diagramm wurde für Gehalte <Bestimmungsgrenze die Hälfte der Bestimmungsgrenze eingesetzt. Die noch geringeren As- Gehalte der Vereinigten Mulde resultieren aus der für dieses Projekt niedrigeren Bestimmungsgrenze. Auf den Grünlandstandorten stellt sich die Situation etwas anders dar (Abb. 7).

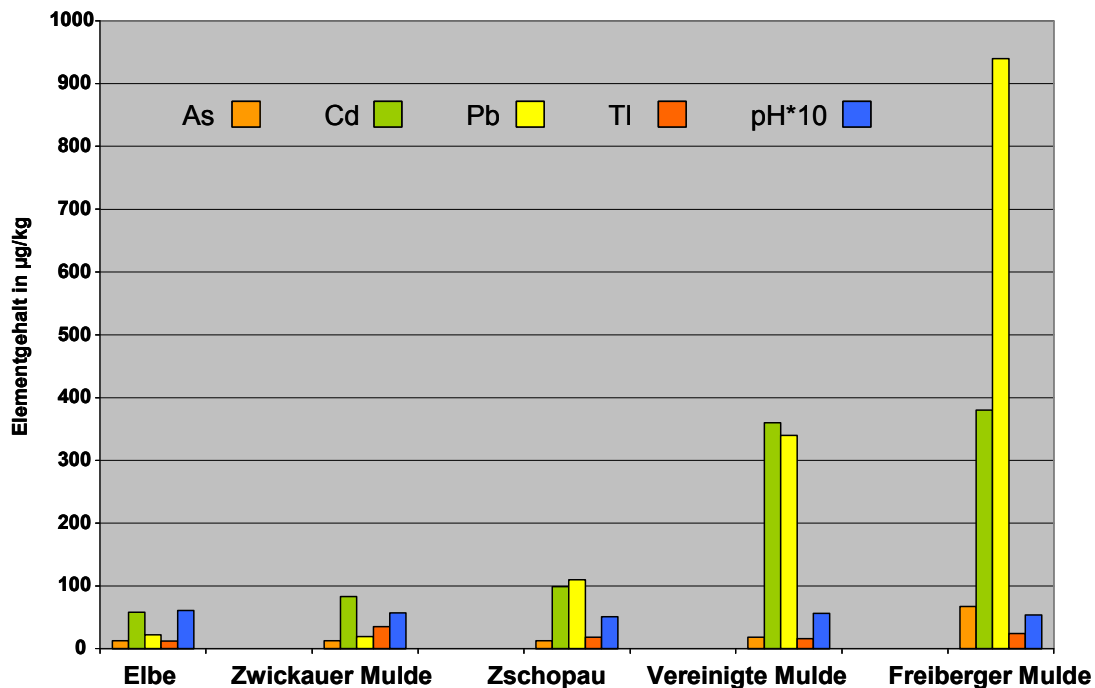


Abb. 7: Mittlere Elementgehalte (Median, AN) und pH-Werte in den Oberböden sächsischer Auen unter Grünlandnutzung

Die ammoniumnitratextrahierbaren Gehalte der Elemente Cd und Pb erreichen in den Gebieten der Freiburger und Vereinigten Mulde Werte von mehreren Hundert µg/kg. Der Medianwert für Pb beträgt auf den Ackerflächen der Freiburger Mulde 17 µg/kg und dagegen 940 µg/kg auf den Grünlandflächen. Ähnlich ist das Verhältnis bei dem Element Cd, wo der Wert von 27 µg/kg im Acker dem von 380 µg/kg im Grünland gegenüber steht. Die Auenböden der Vereinigten Mulde weisen im Grünland ähnlich hohe Cd- (360 µg/kg) und etwas geringere Pb- Gehalte (340 µg/kg) auf. Die extrem hohen Gehalte werden durch die ebenfalls sehr hohen Gesamtgehalte des Grünlandes beider Flussgebiete (600 bzw. 300 mg/kg Pb) in Zusammenhang mit den niedrigeren pH-Werten verursacht. . Damit ist zu besorgen, dass bei mobilen Elementen wie Cadmium zusätzlich zur Verschmutzung (Erdanhang bei der Ernte) bei niedrigen pH-Werten auch die systemische Aufnahme durch die Wurzel eine erhebliche Rolle spielt (vgl. FELDWISCH 2006).

Die As- Gehalte sind im Gebiet der Freiburger Mulde und die Tl- Gehalte in dem Gebiet der Zwickauer Mulde etwas höher als in den anderen Flussgebieten. Letztere werden geogen durch die geochemische Tl-Spezialisierung des Eibenstocker Granits verursacht

Die prozentualen Überschreitungen der Prüf-, Maßnahmen und Empfehlungswerte für die einzelnen Flussgebiete sind in den Tabellen 68 und 69 zusammengefasst.

Die Proben wurden für die Nutzungen Acker/Nutzgarten und Grünland mit den derzeit geltenden Maßnahmen-, Prüf- und Empfehlungswerten verglichen. Bei der Berechnung der prozentualen Überschreitungen für die Auenböden der Zschopau wurden die Proben von den Ackerflächen nicht mit denen der Nutzgärten zusammen ausgewertet, da zwischen beiden Datenkollektiven erhebliche Unterschiede bei dem pH-Wert und den As- und Cd-Gehalten bestehen. Für die Zschopauaue sind deshalb die Nutzgärten separat aufgeführt. Die Gartenböden der Elbaue weichen nur beim Element Pb stark von den ackerbaulich genutzten Böden ab. Der Pb-Median der Königswassergehalte beträgt in den Gartenböden etwa das 3-fache der Ackerböden. Der Anteil der beprobten Gartenböden der übrigen Flussgebiete an der Gesamtanzahl der Proben ist gering.

Auf den Grünlandstandorten treten mit Ausnahme der Elbaue massive Überschreitungen des Maßnahmenwertes für As nach BBodSchV auf. Im Gebiet der Freiburger Mulde überschreiten 83,8%, im Gebiet der Vereinigten Mulde 80,5 % und im Gebiet der Zschopau 74,8 % der Proben diesen Wert. Im Gebiet der Zwickauer Mulde sind noch 67,3 % und im Gebiet der Elbe 13,5 % aller Grünlandproben betroffen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass nach Angaben der LfL bei einer Beprobung des Aufwuchses nach Futtermittelrecht auch auf hochbelasteten Standorten häufig unbedenkliche Gehalte im Futter gemessen werden. Die bei der Ableitung des Maßnahmenwertes der BBodSchV angenommene Regelverschmutzung des Erntegutes von 3% wird in der landwirtschaftlichen Praxis häufig unterschritten. Lediglich nach dem Hochwasser im Jahre 2002 wurden, vorwiegend bei Arsen, über dem Grenzwert liegende Messwerte ermittelt.

Nach mündlichen Mitteilungen der Landesanstalt für Landwirtschaft (HEINZE 2008) wurden bei den amtlichen Kontrollen in Sachsen bislang für keines der betroffenen Elemente Überschreitungen der Futtermittelgrenzwerte festgestellt.

Der Maßnahmenwert der BBodSchV für Cd bei Grünlandnutzung von 20 mg/kg wird nur im Gebiet der Freiburger Mulde mit 7,3 % und im Gebiet der Vereinigten Mulde mit 5,3 % der Proben überschritten.

Beim Element Blei kommt es im Bereich der Freiburger Mulde zu Überschreitungen des Maßnahmenwertes (20,6 %).

Weiterhin treten geringfügigere Maßnahmenwertüberschreitungen für Cu (Freiburger und Vereinigte Mulde) und Quecksilber (Elbe) auf.

Auch auf Ackerflächen und in Nutzgärten kommt es nach BBodSchV zu beträchtlichen Prüf- und Maßnahmenwertüberschreitungen in den untersuchten sächsischen Auen.

Im Bereich der Zschopau überschreiten 80 % der Proben den Prüfwert für reduzierende Verhältnisse von 50 mg/kg As und 62,6 % der Proben liegen über dem Prüfwert von 200 mg/kg As. In dem Gebiet der Vereinigten Mulde überschreiten 73,5 % der Proben den Prüfwert für reduzierende Verhältnisse, aber nur noch 8,2 % den Prüfwert von 200 mg/kg. In der Zwickauer und Freiburger Mulde liegen ca. 59 % der Proben über dem Prüfwert von 50 mg/kg, davon überschreiten in der Freiburger Mulde noch 19,8 % und in der Zwickauer Mulde 2,8 % den Prüfwert von 200 mg/kg.

Beim Element Cd treten die höchsten prozentualen Überschreitungen des Maßnahmenwertes für Brotweizenanbau von 0,04 mg/kg mit 53,3 % in den Ackerböden der Zschopauaue auf, 18,6% überschreiten noch den Maßnahmenwert von 0,1 mg/kg. Der in den Ackerproben der Zschopauaue auftretende niedrige pH-Wert von 5,3 begünstigt wie bereits oben beschrieben das Löslichkeitsverhalten von Cd stark. Selbst in dem durch die Mineralisation sehr viel stärker belasteten Gebiet der Freiburger Mulde überschreiten nur 44,8 % bzw. 22,9 % der Proben die Maßnahmenwerte für Cd. Die Zwickauer und Vereinigte Mulde weisen noch Maßnah-

menwertüberschreitungen von 25% bzw. 31 % für Brotweizenanbau und 7,7 % bzw. 13,1 % generell auf. In der Elbaue liegen 9,2 % über dem Maßnahmenwert von 0,04 mg/kg und 2,4 % über dem Wert von 0,1 mg/kg.

Von den Nutzgärten der Zschopauaue überschreiten 21,9 % den Prüfwert von 2 mg/kg Cd. Den Prüfwert für Blei von 0,1 mg/kg überschreiten 29,2 % der Proben der Freiburger Mulde und 28,3 % der Proben der Vereinigten Mulde. In der Zschopauaue treten noch 25,3 % Überschreitungen auf, obwohl der mittlere Gesamtgehalt des Bleis noch deutlich unter den Werten der Freiburger und Zwickauer Mulde liegt.

Überschreitungen für Hg und Tl treten mit Ausnahme der Freiburger Mulde (für Tl 2,1 %) nicht auf.

Legt man die Empfehlungen der LfL (2006) für die Getreideproduktion auf Ackerflächen zugrunde, liegen im Gebiet der Freiburger und Vereinigten Mulde noch deutliche Prozentsätze über dem Bereich von $>2 - \leq 7$ mg/kg Cd, in dem der Gehalt der Lebensmittelverordnung in den Ernteprodukten mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits überschritten wird und Vor-Ernte-Untersuchungen empfohlen werden. Im Gebiet der Freiburger Mulde sind 31 % der Proben davon betroffen, 9,4 % liegen sogar noch im Bereich >7 mg/kg, d. h., dass der Höchstgehalt der Futtermittelverordnung mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten wird. Im Gebiet der Vereinigten Mulde liegen 25,4 % der Proben im Bereich von $>2 - \leq 7$ mg/kg Cd (Tab. 70).

Der hohe Prozentsatz an Überschreitungen von Prüf- und Maßnahmewerten nach BBodSchV insbesondere für die Elemente As und Cd auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, führen zu der Besorgnis, dass im Futter- und Lebensmittelrecht geregelte Grenzwerte für diese Elemente im Erntegut überschritten werden können. Aus diesem Grund liegt es nahe, Maßnahmen zur Gefahrenabwehr in den betroffenen Gebieten umzusetzen.

Von Seiten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft wird eine Reihe von umsetzbaren Maßnahmen, die den Transfer der Elemente vom Boden in die Nutzpflanze reduzieren, empfohlen. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Optimierung des pH-Wertes, die Auswahl von Sorten mit geringerer Aufnahme von Cd, acker- und pflanzenbauliche Empfehlungen zur Reduzierung des Transfers oder der Verschmutzung des Erntegutes mit belastetem Boden, die gezielte Wahl von Kulturarten mit geringerer Transferrate, bis hin zur Umwandlung von Acker- in Grünland. Nähere Informationen hierzu sind unter <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/Faltblatt8-4.pdf> eingestellt.

Eine weitere zentrale Maßnahme zur Vorsorge gegen den Eintrag von Schwermetallen und Arsen in die Nahrungskette ist das in Sachsen entwickelte Instrument der Vor-Ernte-Untersuchung. Dieses Instrument gibt dem Landwirt die Möglichkeit, seiner Vorsorgepflicht sicher gerecht zu werden. Nähere Informationen zur Vor-Ernte-Untersuchung sind unter http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/VEU_Hinweise_12-06-2007.pdf zu finden.

Empfehlungen für den Umgang mit schwermetall- und arsenbelasteten Flächen und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr sind darüber hinaus den Veröffentlichungen des LfUG (Materialien zum Bodenschutz, 2006) http://www.lfulg.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfulg/lfulg-internet/documents/Handlungsempfehlung_Stand_05_2006.pdf, und dem Merkblatt 55 des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalens (LUA NRW 2006) <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkb/merk55/merk55start.htm> zu entnehmen. In der Veröffentlichung des LfUG (KLOSE et. al. 2005) zum Pilotprojekt „Auenböden der Vereinigten Mulde“ wurde ebenfalls ausführlicher auf diese Problematik eingegangen.

Tab. 68: Überschreitungen von Prüf- (PW) und Maßnahmenwerten (MW) auf Ackerflächen und in Nutzgärten, Angaben in %

Flusssystem	n	Arsen		Cadmium			Blei	Quecksilber	Thallium
		PW 50	PW 200	MW 0,04	MW 0,1	PW 2	PW 0,1	PW 5	PW 0,1
Zwickauer Mulde	248	59,3	2,8	25,0	7,7	15,7	1,6	-	-
Freiberger Mulde	96	59,4	19,8	44,8	22,9	40,6	29,2	n.b.	2,1
Vereinigte Mulde	1962	73,5	8,2	31,0	13,1	29,9	28,3	-	-
Zschopau	75	82,6	62,6	53,3	18,6	2,6	25,3	n.b.	-
Nutzgärten Zschopau	64	67,1	34,4	n.b.	n.b.	21,9	n.b.	n.b.	-
Elbe	441	2,3	-	7,9	2,3	2,5	1,1	-	n.b.

Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBODSCHV (1999):

As (PW) 50 mg/kg (reduzierende Verhältnisse), Königswasser

As (PW) 200 mg/kg, Königswasser

Cd (MW) 0,04 mg/kg (Brotweizenanbau), Ammoniumnitrat

Cd (MW) 0,1 mg/kg, Ammoniumnitrat

Cd (PW) 2 (Hausgärten) mg/kg, Königswasser

Pb (PW) 0,1 mg/kg, Ammoniumnitrat

Hg (PW) 5 mg/kg, Königswasser

Tl (PW) 0,1 mg/kg, Ammoniumnitrat

n.b. nicht bestimmt

- keine Überschreitungen

Tab. 69: Überschreitung von Maßnahmen- (MW) und Empfehlungswerten (EW) auf Grünlandflächen in sächsischen Auenböden, Angaben in %

Flusssystem	n	Arsen MW, EW 50	Cadmium		Blei MW 1200	Kupfer		Quecksilber MW 2
			MW 20	EW 2		MW 200	MW 1300	
Zwickauer Mulde	330	67,3	-	49,1	-	2,1	-	n.b.
Freiberger Mulde	252	83,8	7,5	66,0	20,6	16,7	-	n.b.
Vereinigte Mulde	789	80,5	5,3	74,7	-	8,5	-	2,9
Zschopau	244	77,4	-	27,0	-	3,3	-	n.b.
Elbe	448	13,5	-	34,2	-	n.b.	n.b.	10,9

Maßnahmenwerte nach BBODSCHV (1999) :

As 50 mg/kg
 Cd 20 mg/kg
 Pb 1200 mg/kg
 Cu 200 mg/kg (Schafe), ansonsten 1300 mg/kg
 Hg 2 mg/kg

Empfehlungswerte LFL (2006):

As 50 mg/kg
 Cd 2 mg/kg

n.b. nicht bestimmt
 - keine Überschreitungen

alle Angaben bezogen auf Königswasser-Extrakt

Tab. 70: Über- und Unterschreitung von Empfehlungswerten (LFL 2006) für die Getreideproduktion auf Ackerflächen, Angaben in %

Flusssystem	n	Cadmium in mg/kg			
		<=1	>1 - <=2	>2 - <=7	>7
Zwickauer Mulde	248	49,6	34,7	12,5	3,2
Freiberger Mulde	96	39,6	19,8	31,2	9,4
Vereinigte Mulde	1962	25,7	47,2	25,4	1,6
Zschopau	75	61,3	36,0	2,7	-
Elbe	414	90,8	7,5	1,7	-

- Cd <= 1 mg/kg Höchstgehalt nach Lebensmittelverordnung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten
- Cd >1 - <=2 mg/kg Anpassungen können die Einhaltung des Höchstgehalts noch ermöglichen, Vor-Ernte-Untersuchungen werden empfohlen
- Cd >2 - <=7 mg/kg Höchstgehalt nach Lebensmittelverordnung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten, Höchstgehalt nach Futtermittelverordnung wird eingehalten, Vor-Ernte-Untersuchungen werden empfohlen
- Cd >7 mg/kg Höchstgehalt nach Futtermittelverordnung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten

- keine Überschreitungen

alle Angaben bezogen auf Königswasser-Extrakt

6 Zusammenfassung

Das sächsische Auenmessprogramm als Bestandteil des sächsischen Bodenmessprogramms untersuchte in den Jahren 2000 – 2006 an ausgewählten, größeren Flüssen Sachsens den Stoffbestand der Auenböden. Dazu wurden in den Auen der Zwickauer, Freiburger und Vereinigten Mulde, der Zschopau und der Elbe Bodenproben entnommen und auf relevante Spurenelemente analysiert.

Die hohen Arsen- und Schwermetallgehalte in den Auenböden des Muldensystems stehen in ursächlichem Zusammenhang mit den geogenen und anthropogenen Belastungen in den erzgebirgischen Bergbau- und Hüttenzentren (Freiberg, Ehrenfriedersdorf, Aue – Schneeberg). In den Auenböden der Zwickauer, Freiburger, und Vereinigten Mulde, der Zschopau und untergeordnet der Elbe treten fast durchgängig sehr hohe bis hohe As-, Cd-, Pb- und teilweise Cu-, Zn- und U-Gehalte auf.

Die Ober- und Unterböden der Freiburger Mulde haben die höchsten Anreicherungen an Arsen, Cadmium, Blei und Zink erfahren und im weiteren Verlauf treten auch in den Böden der Vereinigten Mulde noch sehr hohe Arsen-, Cadmium-, Blei- und Zinkgehalte auf. In den Auenböden der Zschopau dominiert das Element Arsen. Die Böden der Zwickauer Mulde haben etwas niedrigere Gehalte der o. g. Elemente und sind zusätzlich durch eine Anreicherung von Uran gekennzeichnet. Die Arsen- und Schwermetallgehalte der Elbaue liegen insgesamt deutlich unter denen des Muldensystems.

In den Untersuchungsgebieten werden die Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV z. T. um ein Vielfaches überschritten.

Ein besonderes Problem stellen die Arsengehalte auf Grünlandflächen dar. Beispielsweise überschreiten im Untersuchungsgebiet der Freiburger Mulde 83,8 %, im Gebiet der Vereinigten Mulde 80,5 %, im Gebiet der Zschopau 77,4 % und im Gebiet der Zwickauer Mulde immerhin 67,3 % der untersuchten Proben den As- Maßnahmenwert von 50 mg/kg der BBodSchV. Der Maßnahmenwert für Blei wird nur im Gebiet der Freiburger Mulde von 20,6 % der Proben überschritten. Im Bereich der Freiburger und Vereinigten Mulde treten im Grünland weiterhin Überschreitungen des Maßnahmenwertes für Cd und Cu auf. 10,9 % der Proben der Elbaue liegen über dem Maßnahmenwert für Hg von 2 mg/kg.

Auf Ackerflächen ist neben Arsen auch Cadmium und teilweise Blei von größerer Bedeutung. Bis auf die Proben aus der Elbaue und aus den Nutzgärten der Zschopauaue überschreiten in fast allen Flussgebieten relativ hohe Prozentsätze den Cd-Maßnahmenwert für Brotweizen und stark Cd- anreichernde Gemüsearten von 0,04 mg/kg im Ammoniumnitratextrakt, im Gebiet der Freiburger Mulde liegen davon noch 22,9 %, im Gebiet der Zschopau noch 18,6 % und im Gebiet der Vereinigten Mulde noch 13,1 % über dem allgemeinen Maßnahmenwert von 0,1 mg/kg Cd. Bei dem Element Arsen kommt es mit Ausnahme des Gebietes der Elbaue zu relativ hohen Anzahlen an Prüfwertüberschreitungen auf den Ackerflächen. Der Prüfwert für Blei von 0,1 mg/kg wird im Gebiet der Freiburger und Vereinigten Mulde und der Zschopau von ca. 25 – 30 % der Proben überschritten.

Die Untersuchungen in den Auen machen deutlich, dass in weiten Teilen der Auen des Muldensystems und der Zschopau konkrete Hinweise auf das Vorliegen von flächenhaften schädlichen Bodenveränderungen bestehen, die aus bodenschutzfachlicher Sicht einen erheblichen Handlungsbedarf auslösen. Nach einer gefahren- und flächenbezogenen Abgrenzung und Differenzierung erfordern die bodenschutz- sowie futter- und lebensmittelrechtlichen Vorschrif-

ten in den betroffenen Gebieten in Zusammenarbeit mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde entsprechende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr.

In den Gebieten mit erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten werden Vor-Ernte-Untersuchungen empfohlen und von den Landwirten durchgeführt, um bereits vor der Ernte eigenverantwortlich die Einhaltung der lebens- oder futtermittelrechtlichen Grenzwerte zu überprüfen, und in der Verwendung des Erntegutes reagieren zu können. Sollten auch die futtermittelrechtlichen Grenzwerte überschritten werden, kann der Landwirt auf dieser Basis bereits vor der Ernte auf eine energetische Nutzung des Aufwuchses umorientieren.

Zur Überwachung der Einhaltung der futter- und lebensmittelrechtlichen Vorschriften erfolgen in den betroffenen Gebieten stichprobenartig Kontrollen durch die zuständigen Lebens- und Futtermittelüberwachungsbehörden.

7 Literaturverzeichnis

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl., Hannover.
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2007): Kartenwerk für die Festlegung des Bodenplanungsgebietes nach § 9 SächsABG für die Zschopauaue. – Unveröff. Bericht im Auftrag des RP Chemnitz, Freiberg.
- BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (BBODSCHV, 1999): BGBl. I, S. 1554.
- FELDWISCH, N. (2006): Gefahrenbeurteilung von Schadstoffbelastungen auf Grünland. – Zeitschrift Bodenschutz, H. 02/2006, S. 39-43.
- GREIF, A.; PÄLCHEN, W.; RANK, G. & WEIDENSDÖRFER, H. (2003): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 2, Spurenelemente in Bachsedimenten. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- KARDEL, K., RANK, G. & PÄLCHEN W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen. - Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul.
- KLOSE, R.; RANK, G. & MARX, V. (2005): Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung auf schadstoffbelasteten Flächen im Freistaat Sachsen – Pilotprojekt Auenböden Vereinigte Mulde. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- LUA NRW - LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (HRSG.) (2006): Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. – Merkblätter Band 55, Essen.
- PÄLCHEN, W.; GREIF, A.; SCHOLZ, H. & KETTNER, C. (1998): Abschlußbericht zum BMBF - Forschungsvorhaben „Geogene Hintergrundbelastung im Elbeeinzugsgebiet, Teilprojekt 5: Grundgebirgsgeprägte Einzugsgebiete“. – Unveröff. Bericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W. & WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3, Bodenmessprogramm, Bodenmessnetz 4 km x 4 km.- Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- RANK, G.; KARDEL, K. & WEIDENSDÖRFER, H. (2005): Geochemische Untersuchungen an Hochflutschlämmen und Auenböden in Sachsen in Verbindung mit dem Hochwasserereignis 2002, Geol. Jb. C 70, Hannover.
- RHODE, KRISTINA (2007): Vergleichende Bewertung oberflächennaher Schwermetallbelastungen der Elbaue oberhalb und unterhalb des Zuflusses der Müglitz in Heidenau. – Diplomarbeit, TU Bergakademie, Freiberg.

LFUG - SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (HRSG.) (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten, Stand 04/2006. – Materialien zum Bodenschutz, Dresden.

LFL - SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (HRSG.) (2006): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. – Dresden.

8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellen

- Tab. 1: Probenahme und Analytik der Projekte des Auenmessprogramms
- Tab. 2: Zwickauer Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 3: Zwickauer Mulde – Oberboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 4: Zwickauer Mulde – Oberboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 5: Zwickauer Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 6: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Zwickauer Mulde
- Tab. 7: Zwickauer Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 8: Zwickauer Mulde – Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 9: Zwickauer Mulde – Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 10: Zwickauer Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 11: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Zwickauer Mulde
- Tab. 12: Freiburger Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 13: Freiburger Mulde – Oberboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 14: Freiburger Mulde – Oberboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 15: Freiburger Mulde – Oberboden Forst, Königswassergehalte
- Tab. 16: Freiburger Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 17: Freiburger Mulde – Unterboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 18: Freiburger Mulde – Unterboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 19: Freiburger Mulde – Unterboden Forst, Königswassergehalte
- Tab. 20: Medianwerte (KW) in den Oberböden der Freiburger Mulde
- Tab. 21: Medianwerte (KW) in den Unterböden der Freiburger Mulde
- Tab. 22: Freiburger Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 23: Freiburger Mulde – Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 24: Freiburger Mulde – Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 25: Freiburger Mulde – Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 26: Freiburger Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 27: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Freiburger Mulde
- Tab. 28: Freiburger Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)
- Tab. 29: Freiburger Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)
- Tab. 30: Zschopau – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 31: Zschopau – Oberboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 32: Zschopau – Oberboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 33: Zschopau – Oberboden Forst, Königswassergehalte
- Tab. 34: Zschopau – Oberboden Nutzgarten Königswassergehalte
- Tab. 35: Zschopau – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 36: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Zschopau
- Tab. 37: Zschopau – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 38: Zschopau – Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte

- Tab. 39: Zschopau – Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 40: Zschopau – Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 41: Zschopau – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 42: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Zschopau
- Tab. 43: Zschopau – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)
- Tab. 44: Zschopau – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)
- Tab. 45: Vereinigte Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 46: Vereinigte Mulde - Oberboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 47: Vereinigte Mulde – Oberboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 48: Vereinigte Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 49: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Vereinigten Mulde
- Tab. 50: Vereinigte Mulde – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 51: Vereinigte Mulde – Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 52: Vereinigte Mulde – Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 53: Vereinigte Mulde – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 54: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Vereinigten Mulde
- Tab. 55: Elbe – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 56: Elbe – Oberboden Acker, Königswassergehalte
- Tab. 57: Elbe – Oberboden Grünland, Königswassergehalte
- Tab. 58: Elbe – Oberboden Forst, Königswassergehalte
- Tab. 59: Elbe – Oberboden Nutzgarten, Königswassergehalte
- Tab. 60: Elbe – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Königswassergehalte
- Tab. 61: Medianwerte (KW) in den Auenböden der Elbe
- Tab. 62: Elbe – Oberboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 63: Elbe – Oberboden Acker, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 64: Elbe – Oberboden Grünland, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 65: Elbe – Oberboden Forst, Ammoniumnitratgehalte
- Tab. 66: Medianwerte (AN) in den Auenböden der Elbe
- Tab. 67: Elbe – Unterboden ohne Nutzungsdifferenzierung, Eluate (S4)
- Tab. 68: Überschreitungen von Prüf- (PW) und Maßnahmenwerten (MW) auf Ackerflächen und in Nutzgärten, Angaben in %
- Tab. 69: Überschreitung von Maßnahmen- (MW) und Empfehlungswerten (EW) auf Grünlandflächen in sächsischen Auenböden, Angaben in %
- Tab. 70: Über- und Unterschreitung von Empfehlungswerten (LFL 2007) für die Getreideproduktion auf Ackerflächen, Angaben in %

Abbildungen

- Abb. 1: Geogene Einflüsse auf mögliche Bodenbelastungen – Mineralisationen Erzgebirge/Vogtland
- Abb. 2: Probenahmeschema mit Catenen und Probenahmepunkten (Zschopauaue bei Frankenberg)
- Abb. 3: Mittlere Elementgehalte (Median, KW) in den Ober- und Unterböden ausgewählter sächsischer Auen
- Abb. 4: Mittlere Arsengehalte (Median, KW) in den Oberböden sächsischer Auen unter Acker- und Grünlandnutzung
- Abb. 5: Mittlere Cadmiumgehalte (Median, KW) in den Oberböden sächsischer Auen unter Acker- und Grünlandnutzung
- Abb. 6: Mittlere Elementgehalte (Median, AN) und pH-Werte in den Oberböden sächsischer Auen unter Ackernutzung
- Abb. 7: Mittlere Elementgehalte (Median, AN) und pH-Werte in den Oberböden sächsischer Auen unter Grünlandnutzung

9 Abkürzungen

AN	Ammoniumnitrat(extraktion)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung
EW	Empfehlungswert
FIS	Fachinformationssystem
KA 4	Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage
KW	Königswasser(extraktion)
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
LTV	Landestalsperrenverwaltung
MAX	Maximum
MIN	Minimum
MW	Maßnahmenwert
n	Werteanzahl
n. b.	nicht bestimmt
PW	Prüfwert
P90	90er Percentil
SächsABG	Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt- und Landwirtschaft
UBG	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft