



Das Lebensministerium



Auenböden der Vereinigten Mulde

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 2/2006

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung auf schadstoffbelasteten Flächen
im Freistaat Sachsen**

Pilotprojekt „Auenböden der Vereinigten Mulde“

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) und der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) bearbeitet.

Inhaltsverzeichnis

1	Zielstellung und Projektübersicht	1
2	Untersuchung der Auenböden der Vereinigten Mulde, Konzentrationsverteilung von Schwermetallen	2
2.1	Stoffliche Verhältnisse im Mulde-Einzugsgebiet	2
2.1.1	Geogene und anthropogene Situation	2
2.1.2	Hochwasser 2002 und Schlammproblematik in Sachsen	3
2.2	Untersuchungsmethodik zur Ermittlung der flächenhaften Konzentrationsverteilung in den Auenböden der Vereinigten Mulde	6
2.2.1	Probenahme	6
2.2.2	Analytik	7
2.2.3	Bodenscan-Verfahren	7
2.2.4	Bodenbelastungskarten	8
2.3	Ergebnisse	8
2.3.1	Nutzungsart Ackerland	8
2.3.2	Nutzungsart Grünland	14
3	Boden-Pflanze-Beziehungen	17
3.1	Anliegen	17
3.2	Material und Methoden	17
3.3	Boden- Pflanze-Beziehungen bei Grünland	19
3.3.1	Arsen	19
3.3.2	Cadmium	23
3.3.3	Blei	24
3.4	Boden- Pflanze-Beziehungen bei Winterweizen	25
3.4.1	Cadmium	25
3.4.2	Blei und Arsen	28
3.5	Boden- Pflanze-Beziehungen bei Triticale	30
3.6	Untersuchungen in Kleingärten der Muldenaue	32
4	Empfehlungen für den Umgang mit schwermetall- und arsenbelasteten Flächen	34
4.1	Optimierung des pH-Wertes	34
4.2	Phosphordüngung	34
4.3	Anbauempfehlungen	34
4.3.1	Getreideanbau	34
4.3.2	Obst- und Gemüseanbau	35
4.4	Sortenabhängige Schwermetallaufnahme	35
4.5	Umwandlung von Acker- in Grünland	37
4.6	Futtererzeugung	37
4.7	Flächenumwidmung	37
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	40
6	Literatur	42

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Arsen im Oberboden (LfUG, 2002)
- Abb. 2: Vergleich As-Gehalte (Median P50) Schlamm - Oberboden
- Abb. 3: Arsen in Schlämmen der Freiburger und Vereinigten Mulde vor Eintritt ins Freiburger Bergbaurevier bis nördliche Landesgrenze
- Abb. 4: Übersichtskarte Beprobungsgebiet (PG 0 bis PG 12)
- Abb. 5: Flächenanteile der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Cadmium (KW)
- Abb. 6: Flächenanteile der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Blei (AN)
- Abb. 7: Flächenanteile der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Arsen Acker(KW)
- Abb. 8: Flächenanteile der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Arsen Grünland(KW)
- Abb. 9: Konzentrationsverteilung von Cadmium (KW) auf Ackerflächen und Arsen (KW) auf Grünland (Nordteil)
- Abb. 10: Konzentrationsverteilung von Cadmium (KW) auf Ackerflächen und Arsen (KW) auf Grünland (mittlerer Teil)
- Abb. 11: Konzentrationsverteilung von Cadmium (KW) auf Ackerflächen und Arsen (KW) auf Grünland (Südteil)
- Abb. 12: Arsengehalt in Grasproben (ungewaschen) in Abhängigkeit vom As-Bodengehalt
- Abb. 13: Arsengehalt in Krautproben (ungewaschen) in Abhängigkeit vom As-Bodengehalt
- Abb. 14: Abhängigkeit des As-Gehalts in Grünland (1.Schnitt) von der Bodenbelastung
- Abb. 15: Abhängigkeit des Cd-Gehalts in Grünland (1.Schnitt) von der Bodenbelastung
- Abb. 16: Cadmiumgehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden
- Abb. 17: Arsengehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden
- Abb. 18: Triticale, Cadmiumgehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden
- Abb. 19: Triticale, Bleigehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden
- Abb. 20: Triticale, Arsengehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden
- Abb. 21: Winterweizen, sortenabhängige Cd-Aufnahme
- Abb. 22: Sommergerste, sortenabhängige Cd-Aufnahme

Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AN	Ammoniumnitrat
B	Bestimmtheitsmaß
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung
EL _{AN}	Element-Gehalt im Ammoniumnitratextrakt (As, Cd, Pb)
EL _{GI}	Element-Gehalt in Grünlandaufwuchs (As, Cd, Pb)
EL _{Gr}	Element-Gehalt im Grasanteil (As, Cd, Pb)
EL _{Korn}	Element-Gehalt im Erntekorn (As, Cd, Pb)
EL _{Kr}	Element-Gehalt im Krautanteil (As, Cd, Pb)
EL _{KW}	Element-Gehalt im Königswasserextrakt (As, Cd, Pb)
FM	Frischmasse
GW	Grenzwert
KW	Königswasser
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
LTV	Landestalsperrenverwaltung
MW	Mittelwert
n	Werteanzahl
PG	Projektgebiet
PMW	Prüf- und Maßnahmenwerte
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
TM	Trockenmasse
VDLUFA-MB	Methodenbuch des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersu- chungs- und Forschungsanstalten
ZEBS	Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien

1 Zielstellung und Projektübersicht

Im Zusammenhang mit der Beseitigung der Hochwasserfolgen von August 2002 im Freistaat Sachsen ist die Problematik der Schwermetallbelastungen der Auenböden des Muldesystems verstärkt in den Vordergrund gerückt. Zur Entscheidung über die konkrete Ausgestaltung der technischen Hochwasserschutzmaßnahmen ist es u. a. erforderlich, die betroffenen landwirtschaftlichen Flächen daraufhin zu untersuchen, welches Schutzniveau auf Grund der Schadstoffsituation in den Böden und drohender Schadstoffgehalte in Futter- und Lebensmitteln gerechtfertigt ist /1/.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) und die Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurden mit Erlass vom 06.01.2003 beauftragt /2/, im Rahmen des Pilotprojektes Mulde das Nutzungsproblem schwermetallbelasteter landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Flächen aufzuarbeiten. Dazu waren aufeinander abgestimmte und hinreichend detaillierte Untersuchungen des Bodens (LfUG) und der Pflanzen (LfL) sowie eine gemeinsame Ergebnisauswertung vorzunehmen. Für die Ableitung flächenbezogener Empfehlungen für eine landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung der Auenböden der Vereinigten Mulde waren die Informationsdichte und Informationsinhalte zu erweitern. Die Ergebnisse wurden in einem Abschlussbericht LfL/LfUG 2004 niedergelegt /3/ /4/.

Zur Untersuchung der Auenböden durch das LfUG wurden in acht Projektgebieten und in einem übergeordneten Projektgebiet „0“ Bodenmischproben genommen und bodenkundliche Profilaufnahmen in einem vorgegebenen Raster durchgeführt. Des Weiteren wurde in Teilgebieten die elektrische Leitfähigkeit des Bodens gemessen, um Rückschlüsse auf das Substrat des Untergrundes zu erhalten. Im vorliegenden Bericht wurden die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen unter Einbeziehung von früher erhobenen Daten anhand von Karten für Ackerland und Grünland für die Projektgebiete dargestellt, die Untersuchungsbefunde statistisch ausgewertet und anhand der Gesetzesgrundlagen bewertet sowie Empfehlungen zur Optimierung künftiger Untersuchungen der Auenböden anderer Flusssysteme (z. B. der Oberelbe) gegeben.

Durch die LfL wurden die relevanten Boden-Pflanzen-Beziehungen für As (Grünland) und Cd (Winterweizen, Winterroggen) hinsichtlich kritischer Bodengehalte für eine Überschreitung der Grenzwerte nach dem Lebensmittel- und Futtermittelrecht untersucht. Weiterhin wurden in ausgewählten Kleingartenanlagen Böden und Pflanzen mit dem Ziel untersucht, beispielhaft den Belastungsstatus mit daraus abgeleiteten Anbau- und Verzehrempfehlungen darzustellen. Als Ergebnis der Bodenuntersuchungen und der Boden-Pflanze-Beziehungen wurden Belastungskarten der untersuchten Gebiete angefertigt.

2 Untersuchung der Auenböden der Vereinigten Mulde, Konzentrationsverteilung von Schwermetallen

2.1 Stoffliche Verhältnisse im Mulde-Einzugsgebiet

2.1.1 Geogene und anthropogene Situation

Auf Grund der geologischen Gegebenheiten, einer Vielzahl von Erzlagerstätten und einer Jahrhunderte währenden Gewinnung und Verarbeitung von Blei-Silber-Zink-, Zinn- und Uranerzen, entwickelte sich die Region des Erzgebirges zu einem bedeutenden Industriestandort. Aus umweltgeochemischer Sicht heißt das jedoch, dass neben den hohen natürlichen, geogenen Belastungen und den zusätzlich erzeugten anthropogenen Emissionen/Immissionen ein stoffliches Belastungspotenzial entstand, was von der Flächengröße und Komplexität in Sachsen und wohl auch in Deutschland einmalig ist.

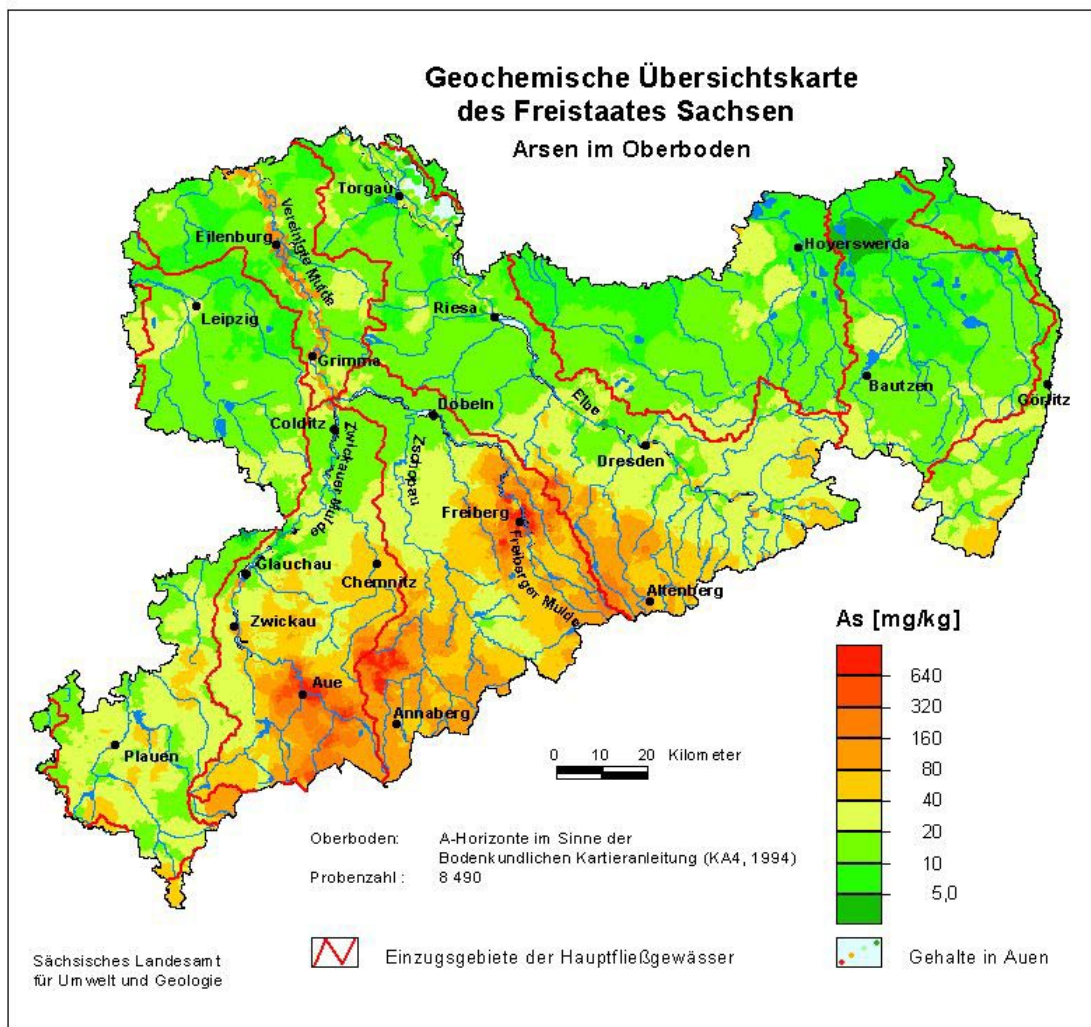


Abbildung 1: Arsen im Oberboden (LfUG, 2002)

Von den anorganischen Schadstoffen spielen zweifellos Arsen, Cadmium und Blei die bedeutendste Rolle, was an Hand von Abb. 1 beispielhaft verdeutlicht werden soll. Besonders hervorzuheben sind das geogene Schadstoffpotenzial der polymetallischen Blei-Silber-Zink-Lagerstätten (Freiberg; As, Cd, Pb), der Zinn-Wolfram-Vererzungen (nördlich Annaberg, Altenberg; As) und der uranföhrenden Mineralisationen (Aue; As, z. T. Cd, Pb), die sich durch eine starke As-Föhrung (in Form der Minerale Arsenkies, FeAsS, und gediegen Arsen) auszeichnen und ihre Nebengesteine weiträumig beeinflussen. Über physikalische und chemische Verwitterungsprozesse nehmen As, Cd und Pb an der Bodenbildung teil. Durch die Verhüttung der Erze in nahezu allen Regionen des Erzgebirges kommt es zu zusätzlichen anthropogenen Einträgen in die Böden, wobei dem Bergbau- und Hüttenstandort Freiberg eine besondere Bedeutung zukommt. Im Rahmen von Verwitterungs- und Transportprozessen gelangen As und die Schwermetalle in die Vorfluter /5/ und werden in den Flusssedimenten und Auenböden akkumuliert. Das Gehaltsniveau in den Auenböden wird dabei im Wesentlichen durch die geochemische (geogene und anthropogene) Situation in den Einzugsgebieten bestimmt. Die höchsten stofflichen Belastungen der Auenböden mit As, Cd, Pb befinden sich deshalb im Auenbereich der Freiburger- und Vereinigten Mulde.

Im Rahmen der Umweltmessnetze föhrt das LfUG seit 1993 ein Bodenmessprogramm zur Untersuchung der As- und Schwermetallbelastung in Sachsen durch /6/. Mittels einer landesweiten Übersichtsaufnahme, regionalen Detailuntersuchungen in bekannten und vermuteten Belastungsgebieten und unter Einbeziehung von validierten älteren Datenerhebungen (u. a. /7/) liegen elementabhängig z. Z. ca. 23.000 Analysen von Oberböden und Unterböden vor. Erste umfangreiche Detailuntersuchungen der Auenböden der Vereinigten Mulde erfolgten im Jahr 2001 durch das LfUG im Rahmen eines begonnenen Auenmessprogramms (Catenen, ca. 700 Probenahmepunkte). Hinsichtlich der Bewertung der Bodenanalysen nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ist sowohl in den Bergbaugebieten als auch in den Auen des Muldensystems eine Überschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte für As, Cd, und Pb festzustellen.

2.1.2 Hochwasser 2002 und Schlammproblematik in Sachsen

Infolge von Starkniederschlägen in Tschechien, im Erzgebirge und an der Elbe kam es im August 2002 zu katastrophalen Abflussereignissen, in deren Folge über 38.000 ha überschwemmt wurden. Im besonderen Maße waren davon die Einzugsgebiete der Elbe und der Vereinigten Mulde betroffen (Tab. 1).

Tabelle 1: Hochwasserereignis August 2002 – überschwemmte Flächen in Sachsen (LfUG, 2003)

Hauptfluss-Einzugsgebiet	Betroffene Gewässerlänge [km]	Überschwemmte Fläche [ha]	Betroffene Nutzungsarten [ha]			
			Siedlung-Verkehr	Ackerland	Grünland	Wald
Weißer Elster	88	676	136	218	244	78
Vereinigte Mulde	117	10.754	943	6.560	2.368	881
Zwickauer Mulde	710	2.283	964	664	249	406
Freiberger Mulde	607	4.608	1.320	1.691	654	943
Elbe	1.015	18.957	4.370	10.848	2.732	1.007
Schwarze Elster	333	1.112	100	775	157	80
Gesamt	2.864	38.390	7.833	20.756	6.404	3.395
Anteil			20,4 %	54,0 %	16,7 %	8,8 %

Mit dem Hochwasser kam es zu enormen Abspülungen von Böden, Erosionen im Auenbereich und teilweise von Bergbauhalden, was flussabwärts zur Ablagerung von klastischen Sedimenten, insbesondere von sandig-schluffigem Material führte. Betroffen waren davon gleichermaßen Siedlungsgebiete, Kleingärten und landwirtschaftliche Nutzflächen. Auf Grund der Überschwemmung von Industrieanlagen, Kläranlagen und Altstandorten musste mit erheblichen stofflichen und hygienischen Belastungen der sedimentierten Schlämme gerechnet werden. Mit dem Rückgang des Hochwassers führten das LfUG, die LfL und andere Behörden sofort analytische Untersuchungen zum Stoffbestand der abgelagerten Schlämme durch. Enorm hohe Gehalte von Arsen, Cadmium und Blei in den Schlämmen der Freiberger Mulde und der Vereinigten Mulde zwangen zu intensiveren Untersuchungen sowie zur Ermittlung der Ursachen für die Schwermetallbelastung. Im Laufe der Bearbeitung wurde immer deutlicher, dass die Kontamination der Schlämme in Sachsen mit anorganischen Stoffen (As, Cd, Pb) die dominierende Belastungsart darstellt, regional stark differiert und ein enger Zusammenhang mit den Schwermetallgehalten der Böden in den Einzugsgebieten besteht.

Die Schlämme an der Elbe, Zwickauer und Vereinigten Mulde sowie der Zschopau weisen hinsichtlich ihrer mittleren As- und Schwermetallgehalte ein quasi analoges Konzentrationsniveau wie die Auenböden selbst auf /8/. Durch die Flut fand im Wesentlichen nur eine Verlagerung von Sedimenten ohne Zumischung von belastetem geogenen bzw. anthropogenem Material statt. Vereinzelt

Erhöhungen der Stoffkonzentrationen (Westerzgebirge, osterzgebirgische Elbezuflüsse) resultieren aus dem geochemischen Potenzial der Einzugsgebiete und sind lokal begrenzt (Abb. 2).

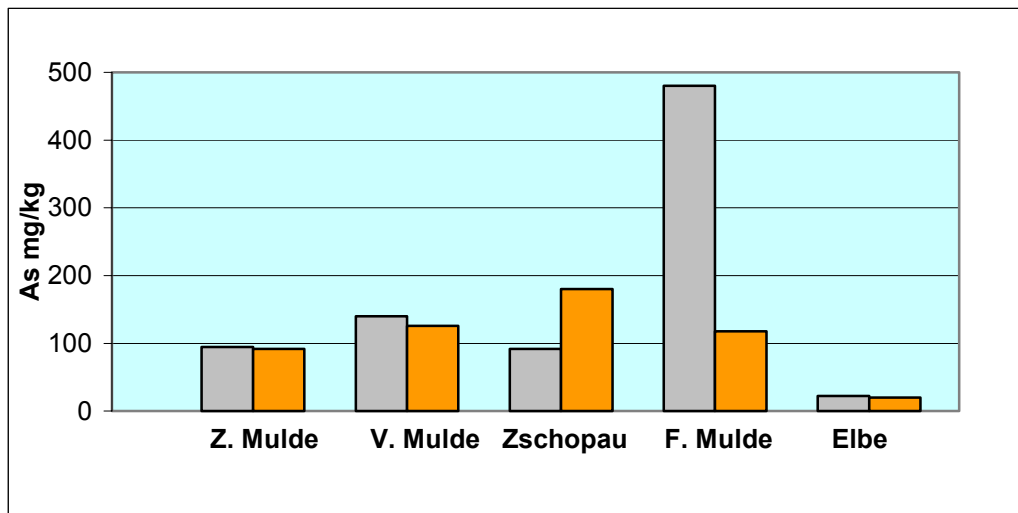


Abbildung 2: Vergleich As-Gehalte (Median; P50) Schlamm (links) - Oberboden (rechts)

Anders im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde (Abb. 3). Infolge der geogenen und anthropogenen Belastungssituation weisen die Flusssedimente und Auenböden der Freiburger Mulde generell ein höheres Gehaltsniveau von As, Cd und Pb (Cu, Sb, Zn) auf. Durch die Abspülung und Verlagerung von ca. 9.000 t Haldenmaterial und schwermetallreicher Flusssedimente im Freiburger Raum wurde zusätzlich hoch belastetes Material flussabwärts bis in den Unterlauf der Vereinigten Mulde transportiert.

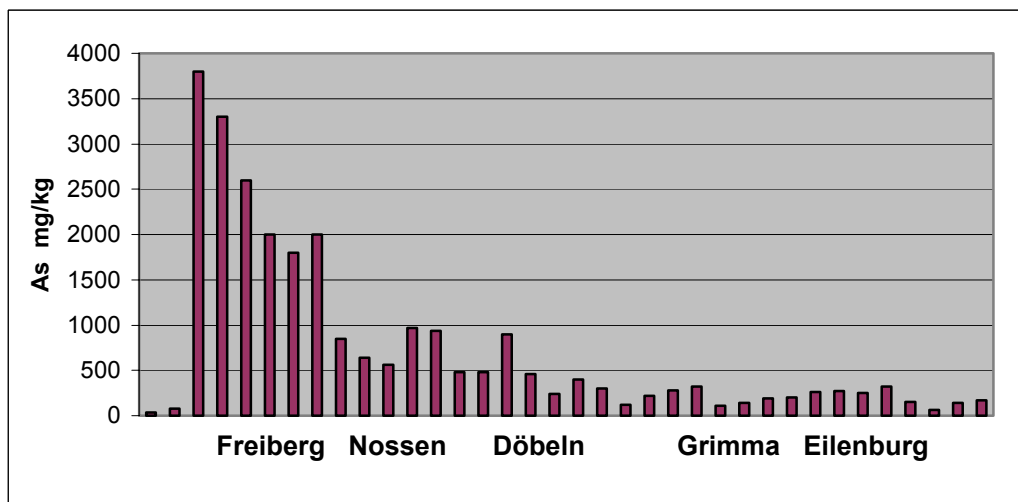


Abbildung 3: Arsen in Schlämmen der Freiburger und Vereinigten Mulde vor Eintritt ins Freiburger Bergbaurevier bis nördliche Landesgrenze

Die Schlämme wurden nach Möglichkeit weitgehend beseitigt. Was bleibt, ist das generelle Problem der Belastung der Auenböden vor allem mit Cd, Pb und As, das zwar schon länger bekannt, aber erst seit der Flut in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der zuständigen Behörden und der betroffenen Grundstückseigentümer gerückt ist. Auf Grund der intensiven landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzung der Aue der Vereinigten Mulde war Handlungsbedarf angezeigt.

Von September 2003 bis Juni 2004 erfolgte deshalb zusätzlich eine intensive Untersuchung der Auenböden der Vereinigten Mulde durch das Pilotprojekt des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) zur Umsetzung der bodenschutzrechtlichen Bestimmungen und in engem Zusammenhang mit der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Landestalsperrenverwaltung (LTV).

2.2 Untersuchungsmethodik zur Ermittlung der flächenhaften Konzentrationsverteilung in den Auenböden der Vereinigten Mulde

2.2.1 Probenahme

Zur Verifizierung der Belastungssituation in der etwa 7.900 ha großen Aue der Vereinigten Mulde waren nach Vorgabe der LTV in den sog. Projektgebieten (PG) 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 12 für die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen detaillierte Untersuchungen nach Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, /9/) durchzuführen (Abb. 4, Anhang). Die Probenahme der PG 1 bis PG 12 erfolgten unter der Federführung der Sächsischen Landsiedlung GmbH (SLS) Meißen. Die dazwischen liegenden Flächen (PG 0) wurden unter Leitung des LfUG bearbeitet. Die Probenahme erfolgte 2003 durch die AUA GmbH Jena, G.E.O.S. Ing.-ges. mbH Freiberg und die AgriCon GmbH Jahna.

In den PG der LTV bestand durch die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen die Anforderung einer relativ hohen Aussagesicherheit (Maßstab 1 : 10.000). Zu Beginn der Feldarbeiten wurden deshalb in den PG 4 und PG 6 die Sondierungen in einer Dichte von 1 Probe/ha (100 Proben je km²) durchgeführt. Auf Grund des enormen Arbeitsaufwandes (und der nach sich ziehenden analytischen Kosten) wurden die rasterförmigen Netze für die folgenden PG auf 1 Probe/2 ha (50 Proben/km²) aufgeweitet. Um die Sondierung herum wurden acht Teilproben entnommen und mit der Probe an der Sondierungsstelle zu einer Mischprobe vereinigt. Die Entnahmetiefe beträgt für Oberböden 0 bis 30 cm (Acker) bzw. 0 bis 10 cm (Grünland). An 25 % der Sondierungspunkte wurde eine bodenkundliche Profilaufnahme durchgeführt und zusätzlich eine Unterbodenprobe gewonnen (Acker ca. 30 bis 60 cm, Grünland ca. 10 bis 30 cm Tiefe).

Die Probenahme im PG 0 erfolgte in einem Raster von 250 x 250 m (16 Punkte/km²), was einem Aufnahmemaßstab von 1 : 25.000 entspricht. An jedem Sondierpunkt wurde eine bodenkundliche Profilbeschreibung erstellt und eine Mischprobe im Oberboden und Unterboden gewonnen. Insgesamt wurden in allen PG auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen (Acker, Grünland) 2.795 Oberboden- und 1272 Unterbodenproben entnommen.

In Teilbereichen der PG wurden aufgrund fehlender Genehmigung der Grundeigentümer keine Beprobungen durchgeführt. Diese Flächen wie auch Flächen größerer Entfernung von Beprobungspunkten oder kleine Flächen, die nicht vom Beprobungsraaster erfasst wurden, sind als „nicht beprobt“ ausgewiesen (Tab.5).

Im Vergleich zu anderen Projekten zur Ermittlung flächenhafter schädlicher Bodenveränderungen in Sachsen (und auch auf Bundesebene) nimmt dieses Projekt hinsichtlich der Beprobungsdichte eine Sonderstellung ein. Zum Vergleich sei der Bodenatlas von Sachsen, Teil 3 genannt, der auf Ergebnissen von 1.164 Probenahmestellen (1 Probe/16 km²; Maßstab 1 : 400.000) basiert. Untersuchungen zu Schwermetallbelastungen in den sächsischen Bergbau- und Hüttenbezirken (LfUG; Freiberg, Ehrenfriedersdorf, Aue – Schneeberg) liegen in einer Dichte von bis zu 7 Proben/ km² vor.

2.2.2. Analytik

Die analytische Bearbeitung der Proben der PG 1 bis PG 12 stand wie die Probenahme unter Federführung der SLS GmbH und wurde an die AUA GmbH Jena und die G.E.O.S. Ing.-ges. GmbH vergeben. Die Analytik des PG 0 erfolgte über das LfUG als Werkvertrag bei der Fa. Umweltanalytik Dr. Rietzler & Kunze GmbH Freiberg.

Die Ober- und Unterböden wurden bei Raumtemperatur getrocknet, gesiebt und der Feinboden (<2 mm) abgetrennt und gemahlen. Die Oberbodenproben wurden im Königswasseraufschluss (KW, DIN ISO 11466) auf As, Cd, Cu, Hg, Pb und Zn sowie im Salpetersäureaufschluss (HNO₃) auf TI untersucht. Die Bestimmung der Ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalte (AN, DIN 19730) erfolgte für As, Cd, Cu, Pb, TI und Zn.

Die Untersuchung der Unterbodenproben konnte im zeitlichen und finanziellen Rahmen des Pilotprojekts nicht realisiert werden. Nach Projektabschluss (Juli 2004) wurden die Unterböden aller PG im Auftrag des LfUG von der DBI-AUA GmbH Freiberg untersucht. Nach Vorlage der Ergebnisse für die Oberböden wurde die Elementpalette für die Unterböden etwas verifiziert; so wurde auf Hg (KW) und TI (HNO₃) verzichtet sowie U und Sb zusätzlich untersucht. Bei den AN-Gehalten konzentrierte man sich auf Cd und Pb. Die pH-Wert Bestimmung an allen Proben erfolgte nach E DIN ISO 10390 (CaCl₂). Vom Feinboden wurden ca. 100 ml als Probenrestmaterial in der Bodenprobenbank des LfUG eingelagert.

2.2.3 Bodenscan-Verfahren

Mit dem Bodenscan-Verfahren wird online die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens über eine Tiefe von 1,2 bis 1,5 m unter Geländeoberkante gemessen. Dazu wird ein nichtmetallischer Schlitten, auf dem sich die Messgeräte befinden, von einem Geländewagen in Abständen von 10 m über den zu vermessenden Schlag gefahren. Im Sekundentakt werden dabei online die DGPS-Koordinaten (dreidimensional in Länge, Breite, Höhe) und der Messwert aufgezeichnet. Die ermit-

telte Leitfähigkeit als Summenparameter wird hauptsächlich durch den Tongehalt (ca. 85 %) und durch das Bodenwasser und dessen Ionenanteil (ca. 15 %) bestimmt. Die Bodenscan-Aufnahmen in ausgewählten Gebieten (PG 1, 4, 9) durch die AgriCon GmbH trugen reinen Testcharakter zum Auffinden von stark durchfeuchteten Bereichen (Altarme der Vereinigten Mulde). Für zukünftige analoge Arbeiten in Auenbereichen war zu prüfen, ob durch eine vorgeschaltete Bodenscan-Aufnahme der Beprobungsaufwand/Analysenkosten eingespart werden können.

2.2.4 Bodenbelastungskarten

Die flächenhaften Analysen (Oberboden) wurden durch die Fa. Golder Associates GmbH Celle bearbeitet, statistisch aufbereitet und in digitalen Belastungskarten dargestellt (Maßstäbe 1 : 10.000, 1 : 25.000). Die Ausweisung der nutzungsbezogenen Belastungsbereiche in Form von Isolinienkarten erfolgte an Hand der Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV (As, Cd, Pb) und den von der LfL erarbeiteten Beurteilungswerten der Transferuntersuchungen zum Cd (KW, Acker) und As (KW, Grünland). Bei der kartographischen Darstellung der einzelnen Belastungsstufen wurden neben der Schadstoffkonzentration weiterhin die Geländemorphologie (Hügel, Senken, Rinnen), die Nähe zu Fließgewässern oder Altarmen, die aktuelle Topographie (Deiche Dämme, Straßen), soweit vorliegend die Bodenscan-Daten und generelle Kenntnisse zum Sedimentationsverlauf im Bereich von Flussauen (Prall- und Gleithang) berücksichtigt.

Die statistischen Berechnungen erfolgten mit dem Programmpaket SPSS 11.0.

2.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 1.962 Oberboden- und 669 Unterbodenanalysen von Ackerstandorten sowie 833 Oberboden- und 603 Unterbodenanalysen von Grünlandstandorten (KW- und AN-Extraktion) durchgeführt.

2.3.1 Nutzungsart Ackerland

Analog dem Elementspektrum im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde, den Bergbau- und Hüttenstandorten im Erzgebirge, dominieren die Stoffanreicherungen von As, Cd und Pb. Die in Tab. 2 aufgeführten mittleren Gehalte (P50, Medianwert) liegen deutlich über den Vorsorgewerten für die Bodenart Lehme/Schluffe der BBodSchV. Bemerkenswert sind die hohen Max.-Gehalte (Cd, Pb), die im Bereich des 10fachen ihrer Mediangehalte liegen.

Tabelle 2: Statistische Maßzahlen: Oberboden Acker im KW-Extrakt
MW – arithmetisches Mittel; P50 – 50. Percentil/Median; P90 – 90. Percentil;
Min – Minimum; Max – Maximum

n=1962	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Tl	Zn	pH
	mg/kg							
MW	94	2,0	55	0,29	190	0,50	250	6,2
P50	78	1,5	38	0,16	140	0,43	210	6,2
P90	190	3,9	110	0,53	420	0,63	420	6,7
Min	<0,5	<0,1	<1	<0,01	1,5	0,10	31	4,1
Max	540	17	380	5,4	1300	15	1200	9,8

Auf Grund der hohen Toxizität und Mobilität von Cd werden in der BBodSchV für Ackerstandorte Maßnahmenwerte auf Basis der im Ammoniumnitratextrakt analysierten Gehalte (AN) festgelegt. Auch wenn das Bewertungsverfahren zum Schadstoffübergang Boden - Pflanze in Fachkreisen teilweise starker Kritik ausgesetzt ist, sind die Ackerflächen nach den Vorgaben der BBodSchV zu analysieren und zu bewerten.

Tabelle 3: Statistische Maßzahlen: Oberboden Acker im AN-Extrakt

n=1962	As (AN)	Cd (AN)	Cu (AN)	Pb (AN)	Tl (AN)	Zn (AN)
	µg/kg					
MW	20	58	100	130	3,9	1900
P50	10	21	80	18	<2,5	270
P90	49	140	210	430	8,6	4600
Min	<2,5	<0,1	<25	2,5	<2,5	<25
Max	420	1500	5100	4300	160	70000

Die mittleren Cd-AN-Gehalte (Tab. 3) liegen nur geringfügig über dem sächsischen Medianwert von 16 µg/kg. Der hohe Max.-Gehalt sowie der hohe P90-Gehalt weisen aber auf eine erhöhte Verfügbarkeit von Cd hin. Beim Pb-AN-Gehalt, der nach BBodSchV als Prüfwert definiert ist, fällt auch hier der hohe P90-Gehalt auf, der weit über dem Landesdurchschnitt liegt. Tab. 4 zeigt zusammenfassend den prozentualen Anteil von Proben, welche die Prüf- und Maßnahmenwerte (PMW) der BBodSchV überschreiten.

Tabelle 4: Oberboden Acker, Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten (PMW) der BBodSchV bzw. Gehaltsempfehlungen/Richtwerte der LfL (s. Kap. 3).

Parameter	PMW mg/kg (KW) bzw. µg/kg (AN)	Anteil Proben mit Überschreitungen %
Cd_AN	MW 100	13
	MW 40 (40-100)	18
Pb_AN	PW 100	28
As_KW	PW 200	8,2
	PW 50 (50-200)	65
Hg_KW	PW 5	0,1
TI_AN	PW 100	0,3
Cd_KW LfL-Beurteilungswert	>7	1,6
	>2-7	25
	1-2	51

Nach den Cd-AN-Gehalten sollte auf ca. 31 % der Ackerfläche kein Anbau von Brotweizen bzw. von Cd-anreichernden Gemüsearten erfolgen. Für Gehalte im Weizenkorn kann jedoch in den von der LfL untersuchten Boden – Pflanze – Beziehungen kein fester Zusammenhang zu den Cd-AN-Gehalten festgestellt werden. Es werden deshalb Empfehlungen aus den oben dargestellten Cd-KW Gehalten abgeleitet.

Die im unteren Teil der Tab. 4 aufgeführten Beurteilungswerte der LfL basieren auf den im Kap. 3 ausführlich dargestellten Transferuntersuchungen (KW-Gehalt). Nach den flächenhaften Untersuchungen treten auf ca. 51 % der Ackerstandorte erhöhte Cd-KW-Gehalte auf (1 bis 2 mg/kg), für welche die LfL Anbauempfehlungen gibt und eine Eigenkontrolle vorschlägt. 25 % sind von hohen Cd-Gehalten betroffen (2 bis 7 mg/kg), auf welchen ein Anbau von Brotweizen nicht zu empfehlen ist. Ca. 1,6 % der Ackerflächen zeigen sehr hohe Cd-Belastungen (>7 mg/kg), wo auch Futtergetreide untersucht und ggf. nach Alternativen für einen Lebensmittel- und Futtermittelproduktion gesucht werden sollte (Abb. 5). Ähnlich hohe Überschreitungen (28 %) sind beim Pb-AN-Gehalt (PW) festzustellen (Abb. 6).

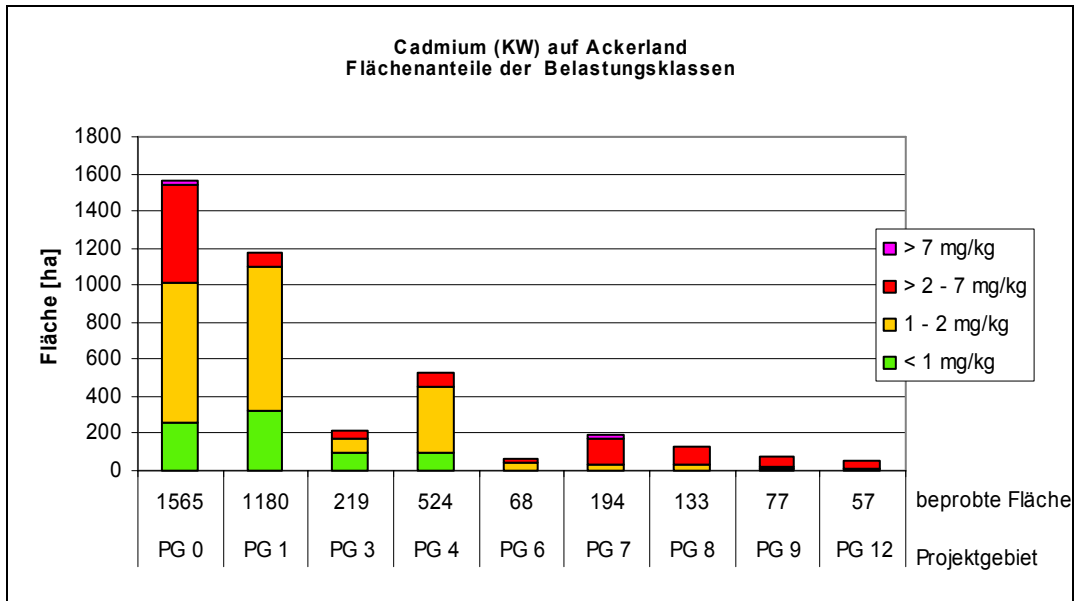


Abbildung 5: Flächenanteile (ha) der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Cadmium (KW)

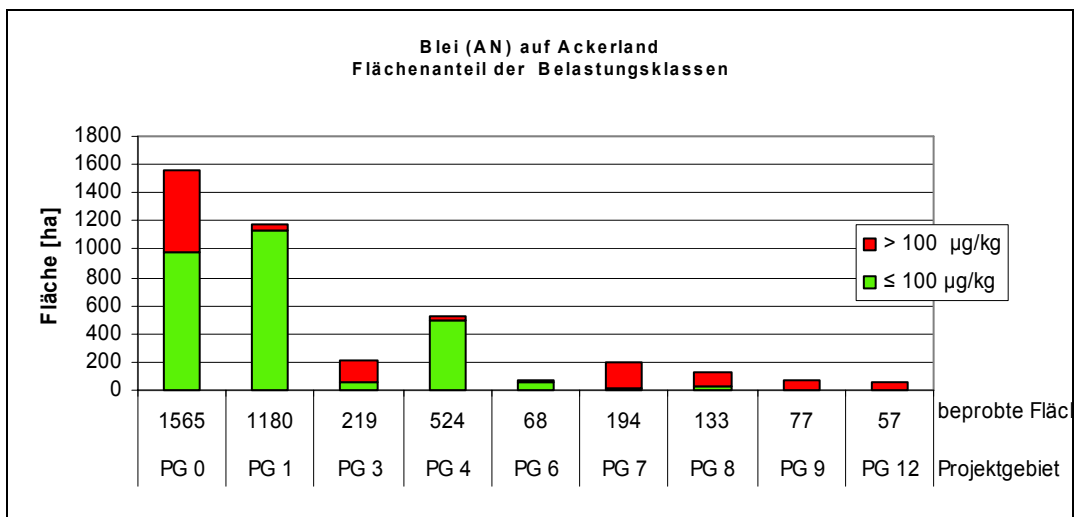


Abbildung 6: Flächenanteile (ha) der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Blei (AN)

Der zweistufig festgesetzte As-PW wird von 8 % der Proben (>200 mg/kg) überschritten (Abb. 7). Weil im Auenbereich mit häufig reduzierenden Bodenverhältnissen zu rechnen ist (Gleye), wäre standortbezogen zu prüfen, ob der niedrigere PW (50 mg/kg) anzusetzen ist.

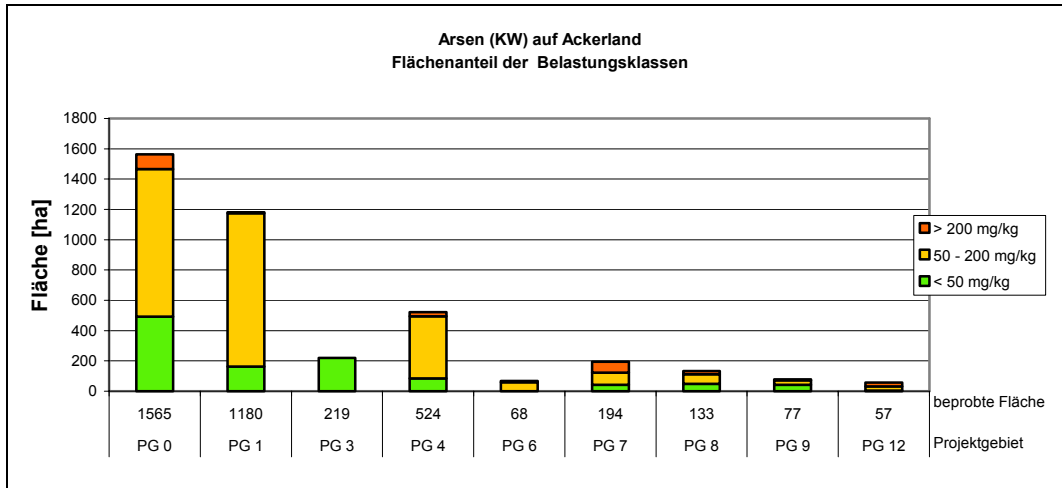


Abbildung 7: Flächenanteile (ha) der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Arsen (KW)

Überschreitungen der Hg- und TI-PW spielen bei der Bewertung des Belastungsszenarios keine Rolle. Bei der Betrachtung der regionalen Verteilung der hoch belasteten Flächen ist festzustellen, dass sich diese i. W. im südlichen Teil der Aue der Vereinigten Mulde befinden (Zusammenfluss Freiburger und Zwickauer Mulde bis Eilenburg). Dies betrifft vor allem die PG 7 bis 12 und die im Südteil gelegenen Flächen des PG 0 (Abb. 9 bis 11, Anhang). Die Flächengrößen der einzelnen Belastungsstufen (Oberboden) in den Projektgebieten sind in Tab. 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Flächengrößen einzelner Belastungsstufen (Oberboden) in den Projektgebieten (Angaben in ha)

*) M-Wert – Maßnahmenwert, P – Prüfwert der BBodSchV

Nutzung	Schadstoff	Gehalt	PG 0	PG 1	PG 3	PG 4	PG 6	PG 7	PG 8	PG 9	PG 12
Acker	M-Wert*)	>100 µg/kg	177,8	42,9	-	18,1	15,4	141,4	38,9	17,9	1,9
	Cd (AN)	40 – 100 µg/kg	402,1	110,0	27,8	95,6	18,7	39,4	60,4	35,6	38,1
		<40 µg/kg	985,4	1027,5	190,8	409,7	33,5	12,9	33,8	23,6	16,7
	nach LfL Cd (KW)	>7 mg/kg	19,2	-	-	-	-	24,4	2,4	-	4,0
		>2 – 7 mg/kg	529,4	77,7	50,7	69,5	22,7	135,0	100,3	55,9	46,0
		1 – 2 mg/kg	756,2	781,6	66,3	354,6	45,2	31,3	24,2	10,1	6,4
		<1 mg/kg	260,3	320,9	101,7	99,6	0,2	3,2	3,4	11,1	0,2
	P-Wert*) As (KW)	>200 mg/kg	98,5	6,5	-	28,3	8,6	71,3	21,9	5,0	25,0
		50 – 200 mg/kg	973,9	1010,6	-	411,3	59,0	79,7	63,2	30,4	26,8
		<50 mg/kg	492,5	163,1	218,6	84,1	-	42,7	48,0	41,7	4,9
	P-Wert Pb (AN)	>100 µg/kg	584,3	47,5	163,7	25,7	17,3	186,1	103,0	77,1	56,7
		<100 µg/kg	980,8	1132,8	54,9	497,8	50,2	7,6	30,1	-	-
	nicht beprobt		238,2	27,3	101,3	-	-	-	-	-	-
	Grünland	M-Wert As (KW)	>50 mg/kg	2527,8	77,6	-	18,7	kein Grünl.	214,5	6,1	kein Grünl.
<50 mg/kg			112,6	81,8	23,1	4,5		14,4	28,8		
nicht beprobt			275,4	48,0	31,0	10,0	-	3,8	18,3	-	-

Die Analytik zum Unterboden erfolgte zusätzlich und im Nachgang zum Pilotprojekt und sollte Aufschlüsse zur Tiefenverteilung (ca. 30 bis 60 cm) der Stoffbelastungen und zum potenziellen „Nachschubpotenzial“ für den genutzten Oberboden erbringen (Tab. 6).

Tabelle 6: Statistische Maßzahlen: Unterboden Acker im KW-Extrakt und AN-Extrakt

n=669	As	Cd	Cu	Pb	Sb	U	Zn	Cd (AN)	Pb (AN)	pH
MW	100	1,7	35	180	2,6	4,5	240	87	150	6,0
P50	74	1,2	27	120	1,9	3,9	200	29	14	6,1
P90	220	3,4	67	390	5,1	7,2	420	230	240	6,7
Min	1,3	0,04	<1	3,1	0,3	<1	41	1,6	1,5	4,1
Max	560	12	200	1200	15	46	910	1900	1800	7,5

Die statistischen Parameter zeigen, dass zwischen den Oberböden und Unterböden von Ackerstandorten nur geringe Gehaltsunterschiede bestehen, mit einer Tendenz zu etwas niedrigeren Gehalten im Unterboden.

Die höheren Cd-AN-Gehalte im Unterboden werden wahrscheinlich durch geringfügig niedrigere pH-Werte als im Oberboden verursacht. Nach BBodSchV gelten auf Ackerstandorten und Bodentiefen von 30 bis 60 cm die 1,5fachen Werte der PWM des Oberbodens. Die U-Gehalte der Unterböden sind gegenüber dem Medianwert der sächsischen Ober- und Unterböden (2 mg/kg) deutlich erhöht und spiegeln die geogenen Anreicherungen im Westerzgebirge und den anthropogenen Einfluss der Uranaufbereitungsanlagen im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde wider. Die erhöhten Sb-Gehalte resultieren aus dem Eintrag von Sb aus dem Freiburger Hüttenbezirk.

2.3.2 Nutzungsart Grünland

Analog zur Nutzungsart Acker weisen die Oberböden der Grünlandflächen (Tab. 7) ebenfalls hohe As- und Schwermetallgehalte auf, wobei die Medianwerte der Ackerstandorte noch weit übertroffen werden.

Tabelle 7: Statistische Maßzahlen: Oberboden Grünland im KW-Extrakt

n=833	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Tl	Zn	pH
	mg/kg							
MW	150	6,7	100	0,66	330	0,80	460	5,6
P50	130	4,5	89	0,57	300	0,46	430	5,6
P90	280	16	200	1,3	610	1,0	840	6,2
Min	<0,5	<0,1	7,3	<0,01	1,5	0,10	23	4,0
Max	700	33	415	7,5	1400	25	1500	7,2

Durch ihre Lage, im Wesentlichen im Vordeichbereich, werden sie regelmäßig überflutet, so dass eine gewisse Stoffakkumulation gegenüber den eingedeichten Ackerstandorten stattfinden kann. Auf den Ackerflächen erfolgt außerdem durch das Pflügen eine ständige Homogenisierung des Oberbodenbereiches, wobei auch Unterbodenmaterial mit eingearbeitet werden kann. Höhere Humusgehalte im beprobten Teufenintervall (0 bis 10 cm) mit Grünlandnutzung ermöglichen zudem eine stärkere Bindung an die organische Substanz. Nach BBodSchV kommt es vor allem zu massiven Überschreitungen des Maßnahmenwertes für As (Tab. 8), aber auch bei Cd, Cu und Hg.

Tabelle 8: Oberboden Grünland, Überschreitung von Maßnahmenwerten (MW) der BBodSchV

Parameter	MW mg/kg	Anteil Proben mit Überschreitungen %
As_KW	MW 50	80
Cd_KW	MW 20	4,4
Cu_KW	MW 200 (Schafweide)	8,2
Hg_KW	MW 2	2,0
Pb_KW	MW 1200	0,7
TI_KW	MW 15	0,6

Proben mit Überschreitung des MW für Cd weisen generell As-Gehalte >50 mg/kg auf. Bei den untersuchten PG 1 bis 12 sind Grünlandstandorte nur untergeordnet vertreten, während sie im PG die Hauptnutzungsart darstellen.

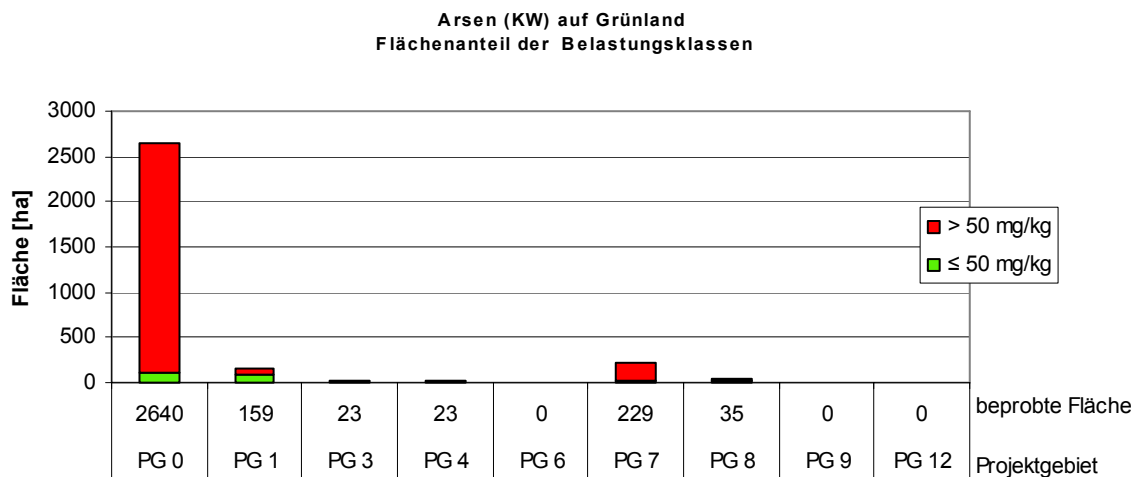


Abbildung 8: Flächenanteile (ha) der Belastungsklassen nach Projektgebieten für Arsen (KW)

Obwohl nicht Gegenstand der Beurteilung nach BBodSchV, wurden auf den Grünlandstandorten die AN-Gehalte mit untersucht (Tab. 9). Sie liefern u. a. wichtige Hinweise für eine evtl. geplante Umnutzung zu Acker und ermöglichen eine Gefährdungsabschätzung für den Pfad Boden-Grundwasser.

Tabelle 9: Statistische Maßzahlen: Oberboden Grünland im AN-Extrakt

n=833	As (AN)	Cd (AN)	Cu (AN)	Pb(AN)	Tl (AN)	Zn (AN)
µg/kg						
MW	35	630	330	920	29	21800
P50	19	350	240	340	16	12700
P90	78	1700	560	1900	72	57000
Min	<2,5	1,2	<25	2,5	0,7	<13
Max	520	5900	8950	23000	1100	160000

Danach sind die im Oberboden (unter Grünland) akkumulierten Schwermetallgehalte im AN-Extrakt leicht löslich und weisen somit auf eine hohe Mobilität hin. Besonders auffällig sind hohen Extraktionsraten bei Cd, Cu, Pb und Zn, während As relativ fest gebunden scheint. Die gegenüber Ackerland deutlich abgesenkten pH-Werte begünstigen eine höhere Mobilität der Schwermetalle. Die Unterbodengehalte (Tab. 10) unter Grünland repräsentieren das Teufenniveau von ca. 10 bis 30 cm.

Tabelle 10: Statistische Maßzahlen: Unterboden Grünland im KW-Extrakt und AN-Extrakt

n=603	As	Cd	Cu	Pb	Sb	U	Zn	Cd (AN)	Pb (AN)	pH
mg/kg							µg/kg			
MW	210	6,4	96	390	6,4	16	490	680	1000	5,4
P50	200	4,3	78	350	5,9	7,1	430	460	300	5,3
P90	380	14	200	740	12	42	920	1600	1800	6,1
Min	5,7	0,2	5,6	14	0,4	0,6	42	0,5	1,5	3,8
Max	770	41	350	1800	18	140	1600	6400	17000	6,1

Die Cd-, Cu- und Zn-Gehalte entsprechen dabei dem Gehaltsniveau der Oberböden, während bei Pb und besonders bei As ein deutlicher Gehaltsanstieg in den Unterböden zu verzeichnen ist. Nach BBodSchV gelten auf Grünlandstandorten und Bodentiefen von 10 bis 30 cm die 1,5fachen Werte der PWM des Oberbodens. Die Cd-AN-Gehalte nehmen, analog zu den Ackerstandorten, ebenfalls zu. Auch hier kann der Anstieg auf die niedrigeren pH-Werte und damit erhöhte Mobilität zurückgeführt werden.

3 Boden-Pflanze-Beziehungen

3.1 Anliegen

Eine Bestimmung von Flächen im Gebiet der Auen hinsichtlich ihrer Eignung als Grünland- bzw. Ackerstandorte setzte die Einschätzung voraus, inwieweit bestehende Grenzwerte nach Futtermittel- und Lebensmittelrecht mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten werden können. Hierzu ist die Ermittlung von Boden-Pflanze-Beziehungen notwendig. Die im Projektgebiet auftretenden Konzentrationen an Schadelementen im Boden machen in erster Linie die Untersuchung des Transfers Boden – Pflanze für die Elemente Arsen und Cadmium auf Grünlandstandorten und für Cadmium auf Getreidestandorten notwendig. Dagegen ist in der Regel weder nach Futter- noch nach Lebensmittelrecht mit der Überschreitung der Blei- und Quecksilber-Höchstgehalte zu rechnen.

Die Boden-Pflanze-Beziehungen wurden im Jahr 2003 in der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht. Zusätzlich wurde der Status der Belastung von Böden und Ernteprodukten in Kleingartenanlagen des Projektgebiets ermittelt.

3.2 Material und Methoden

Die Auenstandorte im Untersuchungsgebiet (Vereinte Mulde von Sermuth bis Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt) wurden nach der Art ihrer Nutzung beprobt. Ziel war eine möglichst exakte Erfassung des Pflanzengehalts in Abhängigkeit vom Gehalt im Boden. Die Bodenprobenahme erfolgte deshalb in unmittelbarer Umgebung der beprobten Pflanzen, um den Einfluss kleinräumig variierender Bodengehalte so weit wie möglich auszuschließen.

Auf Grünlandstandorten wurden zum Zeitpunkt des 1. Schnittes (Mai) und 2. Schnittes (Juli) Boden- und Pflanzenproben entnommen. Dazu wurde auf einer Fläche von jeweils ca. 2 m² das Grünland gemäht. Auf der gleichen Fläche wurde mit einem Rillenbohrstock aus 10 -15 Einstichen eine Mischprobe der obersten Bodenschicht (0 – 10 cm) entnommen. Die Bodenproben wurden getrocknet und homogenisiert.

2003 war ein ausgesprochen trockenes Jahr, besonders im untersuchten Gebiet. Der fehlende Niederschlag wirkte sich vor allem im Laufe des Sommers aus, so dass der zweite Grünlandaufwuchs nur in Ansätzen vorhanden war. Die Ergebnisse sind unter diesem Hintergrund zu bewerten. Ein dritter Schnitt erfolgte gar nicht mehr. Der Grünlandaufwuchs wurde in die Teilproben „Gräser“ und „Kräuter“ geteilt. Kräuteranteile wurden nicht auf jedem Standort festgestellt. Jede Teilprobe wurde nochmals in zwei Unterproben getrennt. Anschließend wurde das Frischgewicht der Unterproben ermittelt und jeweils eine Unterprobe unter fließendem Wasser gewaschen. Nach Trocknung des Untersuchungsmaterials bei 105°C wurde das Trockengewicht jeder Unterprobe bestimmt. Insgesamt wurden im 1. Schnitt 75 Standorte und im 2. Schnitt 39 Standorte beprobt. Durch die Aufteilung in Gras/Kraut und gewaschen/ungewaschen ergeben sich daraus 254 (78) Einzelproben.

Die Beprobung der im Projektgebiet dominierenden Weizen- und Triticaleschläge fand kurz vor dem Erntetermin im August 2003 statt. Von einer ca. 4 m² großen Fläche wurden jeweils 50 Ähren abgeschnitten. Die erntereifen Ähren wurden mit einer Versuchs Dreschmaschine gedroschen und das Korn gemahlen. Von der Fläche wurde mit einem Rillenbohrstock aus 10 -15 Einstichen eine Mischprobe der Bodenschicht 0 – 30 cm entnommen. Die Bodenproben wurden getrocknet und homogenisiert.

Die Kleingartenanlagen befanden sich in Überschwemmungsgebieten des Muldehochwasser 2002 der Städte Eilenburg und Wurzen. Das Artenspektrum der Pflanzenproben war breit. Alle Pflanzenproben wurden gründlich unter fließendem Wasser gewaschen, anschließend bei 105°C getrocknet und mit einer Achatkugelmühle gemahlen. Die Bodenproben wurden getrocknet und homogenisiert. Für die Bestimmung der Elementkonzentration und des pH-Wertes in den Bodenproben kamen folgende Methoden zur Anwendung (Tab. 11):

Tabelle 11: Bestimmungsmethoden für Transferuntersuchungen

Methode	Vorschrift	Bestimmungsgrenze (mg/kg Boden bzw. TM)
Extraktion des königswasserlöslichen Anteils im Boden (KW)	DIN ISO 11466	
Extraktion des Bodens mit Ammoniumnitratlösung (AN)	DIN 19730	
Aufschluss pflanzlichen Materials	VDLUFA MB VII 2.1.1	
Boden-pH	VDLUFA MB I A.5.1.1	
Cadmiumbestimmung - in Böden - in pflanzlichem Material	DIN 38406-29 VDLUFA MB VII 2.2.5	0,03 (KW)/ 0,01 (AN) 0,02
Arsenbestimmung - in Böden - in pflanzlichem Material	VDLUFA MB VII 2.2.4 EN ISO 11969	0,10 (KW)/ 0,02 (AN) 0,10
Bleibestimmung - in Böden - in pflanzlichem Material	DIN 38406-29 VDLUFA MB VII 2.2.5	0,03 (KW)/ 0,03 (AN) 0,02

Die statistische Auswertung der Ergebnisse mit dem Ziel der Bestimmung eines kausalen Zusammenhangs zwischen dem Elementgehalt im Boden und in der Pflanze erfolgte mittels linearer Regression bzw., bei Einbeziehung mehrerer unabhängiger Ausgangsparameter, mittels multipler Regression. Als Rechenprogramm diente SPSS 11.0. Weiterhin wurden die Wertepaare klassenweise nach Elementgehalten im Boden zusammengefasst und die Mittelwerte der einzelnen Klassen verglichen.

3.3 Boden- Pflanze-Beziehungen bei Grünland

3.3.1 Arsen

Die Bestimmtheitsmaße der mittels linearer Regression aufgestellten Beziehungen zwischen dem Gehalt im Boden und dem Gehalt in der Pflanze erreichen bei einem Probenumfang von $n = 75$ maximal den Wert 0,15. Das betrifft alle untersuchten Varianten, sowohl auf der Grundlage des ammoniumnitratlöslichen als auch des mit Königswasser löslichen As-Anteils im Boden. Auch Auswertungen, die den Arsengehalt nur in gewaschenen oder nur in ungewaschenen Proben, unterteilt in Gras-, Krautanteil, betrachten, weisen keinen mittels Regression auswertbaren Zusammenhang zu den Bodengehalten nach (Abb. 12 und 13).

Zur Ermittlung einer hinsichtlich der Einhaltung bestehender Futtermittelhöchstgehalte noch tolerierbaren Arsenkonzentration im Boden wurden deshalb die As-Bodengehalte klassifiziert und der mittlere Arsengehalt im zugehörigen Pflanzenmaterial bestimmt. Die Auswertung ergibt für Arsen eine generelle Einhaltung der Futtermittelhöchstgehalte bis 50 mg As/kg Boden. Die Anzahl an Überschreitungen des Futtermittelgrenzwertes pro Klasse hängt nicht vom Bodenbelastungsniveau ab (Tab. 12 und 13). Ein beträchtlicher Teil der As-Belastung ist auf die Verschmutzung der Pflanzen durch anhaftende Bodenteilchen zurückzuführen. Der Arsengehalt in Gräsern ist deutlich geringer als in Krautproben.

Tabelle 12: As im Grünland, 1.Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

As (KW) (mg/kg)	MW As _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW As _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von As _{GL} , un- gewaschen)	n	>GW (2 mg/kg TM)	
					Anzahl	% von n
0 - 50	0,24	0,17	29,8	21	0	0
51-100	0,82	0,37	54,4	12	3	25
101-150	0,91	0,47	48,1	18	7	39
151-200	0,86	0,35	58,9	11	4	36
201 - 320	1,30	0,44	66,3	13	3	23
			Summe	75	17	Ø = 23

Tabelle 13: As im Grünland, 2.Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

As (KW) (mg/kg)	MW As _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW As _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von As _{GL} , un- gewaschen)	n	>GW (2 mg/kg TM)	
					Anzahl	% von n
0--50	0,55	0,60	-9,1	2	0	0
51--100	1,61	1,30	19,5	11	2	18
101--150	1,11	1,02	7,4	17	1	6
151--200	1,17	1,20	-1,9	3	0	0
201 - 440	1,79	1,63	8,5	6	3	50
			Summe	39	6	Ø = 15

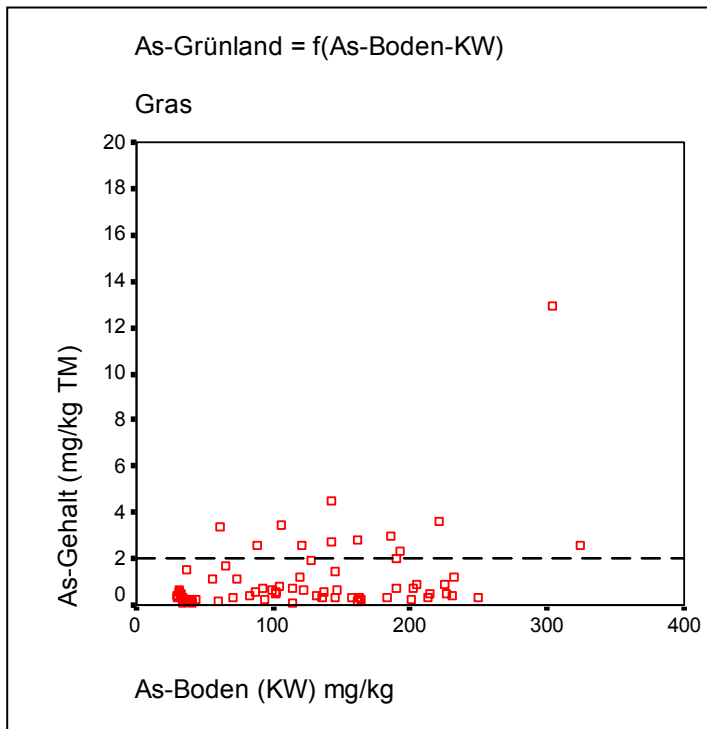


Abbildung 12: Arsengehalt in Grasproben (ungewaschen) in Abhängigkeit vom As-Bodengehalt

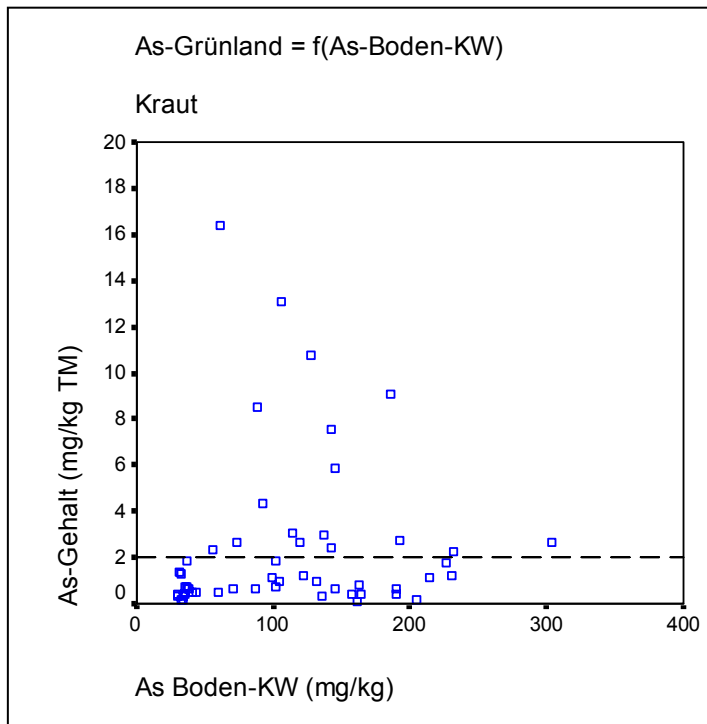


Abbildung 13: Arsengehalt in Krautproben (ungewaschen) in Abhängigkeit vom As-Bodengehalt

Die Ergebnisse bestätigen die Höhe des Maßnahmenwertes der BBodSchV für Arsen von 50 mg As/kg Boden für den Schutz von Grünland vor unerwünschtem Arsentransfer. Jedoch sind auch noch bei weit höheren Bodengehalten im Sinne der Futtermittelverordnung unbelastete Grünlandaufwüchse möglich (Abb. 14). Der derzeitige Kenntnisstand vom Transfer Boden - Pflanze kann die Belastung des Grünlands nur unbefriedigend erklären.

Es ist möglich, dass der Anteil unterschiedlich stark Arsen aufnehmender Pflanzenarten bzw. -sorten einen wesentlichen Einfluss auf die resultierende Belastung einer Grünlandprobe hat und Bodeneigenschaften eher eine untergeordnete Rolle spielen. Gräser haben generell einen deutlich geringeren Schadelementgehalt (As, Cd, Pb) als Kräuter. Ursache dafür sind die größere Blattoberfläche der Kräuter und artspezifische Unterschiede in der Aufnahme von Schadstoffen. Zu beachten ist der hohe Anteil äußerlich an der Pflanze haftender und damit abwaschbarer arsenhaltiger Verunreinigungen. Im Mittel stammen 40 bis 50 % des Gesamtarsens im Grünland aus Verunreinigungen auf der Pflanzenoberfläche. Auch der Cadmium- und Bleigehalt wird durch äußerliche Verschmutzung erhöht, wenn auch nicht in dem Maße wie Arsen. Hier ergibt sich ein Ansatzpunkt für praxisrelevante Maßnahmen zum Umgang mit schadstoffbelasteten Flächen. Die niedrigen pH-Werte der Böden zwischen 4,6 und 6,1 belegen eine ungenügende Kalkung der Grünlandstandorte in den letzten Jahren.

Bei Bodenbelastungen über 50 mg As/kg treten – je nach Belastungsklasse – in 23 – 39 % der Fälle Grenzwert-Überschreitungen auf. Eine Zunahme der Pflanzenbelastung mit steigender Bodenbelastung ist jedoch nicht festzustellen. Der Arsengehalt im Grünlandaufwuchs kann nicht als Funktion des Arsengehalts eines Bodenextraktes angesehen werden. Aufgrund dieser Ergebnisse und der unzureichenden Datengrundlage ist eine Empfehlung zur Aufgabe der futterwirtschaftlichen Grünlandnutzung nicht angemessen.

Anmerkung: Auf Grund der großen Trockenheit während der Vegetationsperiode, der daraus resultierenden sehr geringen Pflanzenmasseproduktion und der sehr lückigen Grasnarbe wird der 2. Schnitt nicht zur Bewertung herangezogen. Es wäre unzulässig, aus diesen unter Extrembedingungen gewonnenen Ergebnissen verallgemeinerbare Aussagen zur Einhaltung der Futtermittelhöchstwerte abzuleiten.

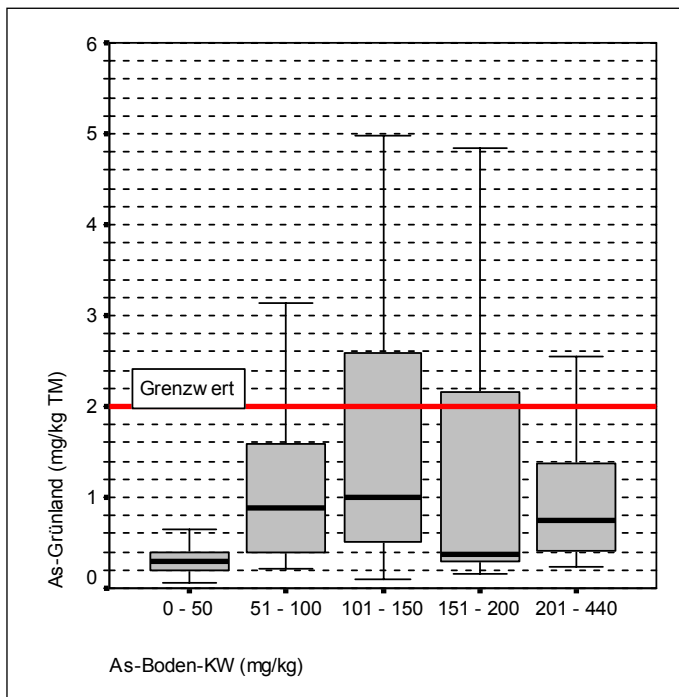


Abbildung 14: Abhängigkeit des As-Gehalts in Grünland (1.Schnitt) von der Bodenbelastung

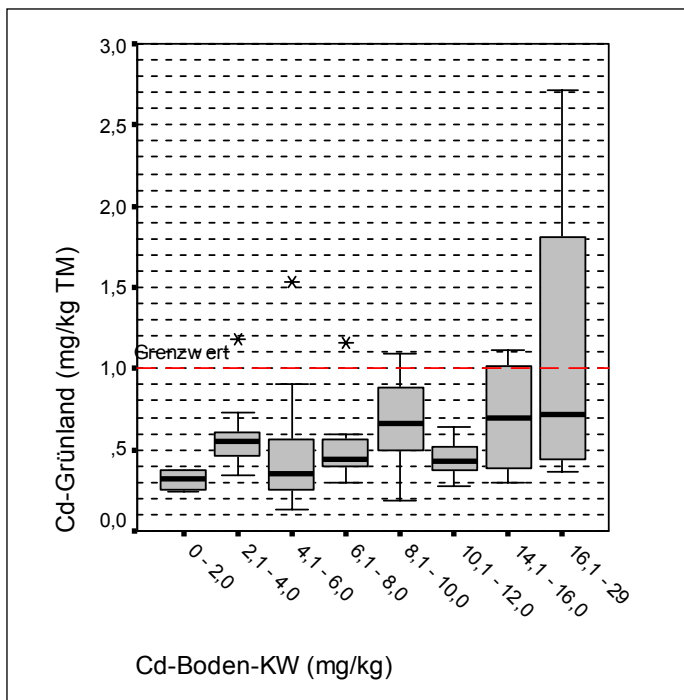


Abbildung 15: Abhängigkeit des Cd-Gehalts in Grünland (1.Schnitt) von der Bodenbelastung

3.3.2 Cadmium

Die Böden weisen Cadmiumgehalte zwischen 1 und 29 mg/kg Boden auf. Die im Untersuchungsgebiet vorkommende Spannweite der Cd-Bodengehalte wird damit zu 88 % erfasst. Im Aufwuchs werden zwischen 0,10 und 2,7 mg Cd/kg TM (Grünland) analysiert. Eine Überschreitung des Grenzwerts nach Futtermittelverordnung wird in 13 % der Proben des 1. Schnittes (23 % in 2. Schnitt) beobachtet.

Auch für Cadmium ergibt die Regressionsanalyse keinen auswertbaren Zusammenhang zwischen Boden- und Pflanzengehalten. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionsbeziehungen sind generell niedrig. Die klassenbezogene Auswertung liefert für den 1. Schnitt bis zu einem Cd-Gehalt von 2 mg/kg Boden keine Futtermittelgrenzwertüberschreitung (Tab. 15). Vereinzelt Überschreitungen werden bei einem Bodengehalt von 2 - 4 mg/kg beobachtet (Abb. 15). Ab einem Bodengehalt über 16 mg/kg (im 2. Schnitt ab 12 mg/kg) wird im Mittel der Futtermittelhöchstgehalt überschritten. Im 2. Schnitt treten in allen besetzten Klassen Überschreitungen auf (Tab. 16). Der Wascheffekt ist deutlich geringer als beim Element Arsen und zeigt die überwiegend systemische Cd-Aufnahme.

Tabelle 15: Cd im Grünland, 1. Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

Cd (KW) (mg/kg)	MW Cd _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW Cd _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von Cd _{GL} , un- gewaschen)	n	>GW (1 mg/kg TM)	
					Anzahl	% von n
0 - 2	0,42	0,40	4,1	6	0	0
2,1 - 4	0,58	0,57	1,3	9	1	11
4,1 - 6	0,49	0,51	-3,6	11	1	9
6,1 - 8	0,56	0,59	-3,7	12	2	17
8,1 - 10	0,69	0,64	7,4	22	3	14
10,1 - 12	0,45	0,52	-15,7	7	0	0
12,1 - 14	----	----				
14,1 - 16	0,70	0,66	5,7	4	1	25
16,1 - 29	1,13	0,53	52,9	4	1	25
			Summe	75	9	Ø = 12

Tabelle 16: Cd im Grünland, 2. Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

Cd (KW) (mg/kg)	MW Cd _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW Cd _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von Cd _{GL} , un- gewaschen)	n	>GW (1 mg/kg TM)	
					Anzahl	% von n
0--2	0,72	0,84	-15,8	6	1	16,7
2,1--4	0,60	0,63	-5,8	9	1	11,1
4,1--6	0,64	0,76	-18,9	7	1	14,3
6,1--8	0,75	0,81	-8,2	6	2	33,3
8,1--10	0,69	0,64	7,7	3	1	33,3
10,1--12	0,61	0,56	8,0	4	1	25,0
12,1--14	1,23	1,28	-4,3	2	1	50,0
14,1--16	--	--		0		
16,1--18	--	--		0		
18,1--20	1,02	1,23	-20,8	2	1	50,0
			Summe	39	9	Ø = 23

Gegenüber der Arsenbelastung von Grünlandaufwüchsen kommt der Cadmiumbelastung nach den vorliegenden Ergebnissen eine geringere Bedeutung zu. Im 1. Schnitt überschreiten die Cd-Gehalte von 13 % der Grünlandproben den Futtermittelgrenzwert.

3.3.3 Blei

Die Bleikonzentration in den untersuchten Bodenproben liegt zwischen 58 und 1.200 mg/kg Boden. Trotz dieser zum Teil sehr hohen Gehalte werden im Grünlandaufwuchs keine Überschreitungen des Futtermittelgrenzwertes festgestellt. Der Maßnahmenwert der Bodenschutzverordnung wird damit bestätigt. Wie bei Arsen und Cadmium lässt sich auch für Blei keine klare Beziehung zwischen Gehalt im Boden und in der Pflanze aus den Daten ableiten.

Eine Ausnahme bilden Beziehungen zwischen den Bleigehalten im Boden und in Grünland bzw. gewaschenem Gras im 2. Schnitt, deren Bestimmtheitsmaße zwischen 0,45 und 0,48 liegen. Die Auswertung zeigt den großen Abstand der mittleren Gehalte im Aufwuchs vom Futtermittelgrenzwert. Über den systemischen Aufnahme- und Transportpfad werden ca. 80 % des in der Pflanze bestimmten Bleis transportiert (Tab. 17 und 18).

Tabelle 17: Pb im Grünland, 1. Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

Pb (KW) (mg/kg)	MW Pb _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW Pb _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von Pb _{GL} , un- gewaschen)	n	> GW (40 mg/kg TM)
0 - 100	0,75	0,60	20,4	21	0
101 - 200	2,62	1,51	42,5	11	0
201 - 300	3,66	2,19	40,3	15	0
301 - 400	2,04	3,10	-51,9	16	0
401 - 760	2,54	1,66	34,8	12	0
			Summe	75	∅ = 0

Tabelle 18: Pb im Grünland, 2. Schnitt, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

Pb (KW) (mg/kg)	MW Pb _{GL} (un- gewaschen) (mg/kg TM)	MW Pb _{GL} (gewaschen) (mg/kg TM)	Wascheffekt (% von Pb _{GL} , un- gewaschen)	n	> GW (40 mg/kg TM)
0 --100	2,71	2,02	26	2	0
101--200	1,78	1,10	38	8	0
201--300	2,01	1,31	35	18	0
301--400	1,81	1,90	-5	9	0
401 - 1200	5,78	5,37	7	2	0
			Summe	39	∅ = 0

Durch das Element Blei besteht im Untersuchungsgebiet keine Gefahr der Kontamination des Grünlandaufwuchses. Der Futtermittelgrenzwert von 40 mg/kg TM wird nicht erreicht, auch nicht in einzelnen Proben, obwohl im Boden bis 1200 mg Pb/kg vorkommen.

3.4 Boden-Pflanze-Beziehungen bei Winterweizen

3.4.1 Cadmium

Im Untersuchungsgebiet wurden von insgesamt 46 Praxisschlägen die Wertepaare Boden – Getreidekorn ermittelt. Mit Gehalten zwischen 0,06 und 1,01 mg/kg TM werden im Korn sowohl unbelastete als auch hoch belastete Proben erfasst. Die Cd-Gehalte der Bodenproben liegen zwischen 0,27 und 5,33 mg/kg. Im Untersuchungsgebiet kommen auf Ackerflächen jedoch Cd-Gehalte bis 17 mg/kg Boden vor. Im Ammoniumnitratextrakt des Bodens werden Gehalte zwischen der Nachweisgrenze und 0,60 mg/kg gefunden. Damit werden teilweise die Maßnahmenwerte nach BBodSchV überschritten.

Die Beziehung zwischen den Cd-Gehalten in den Bodenextrakten Cd (KW), Cd (AN) und dem Gehalt im Erntekorn (Cd_{Korn}) wurde mittels Regressionsrechnung ermittelt, die Qualität der Beziehung an Hand des Bestimmtheitsmaßes bewertet. Transferbeziehungen auf der Grundlage von Cd (KW) sind im Vergleich mit Cd (AN) sicherer (Tab. 19). Ein spürbarer Einfluss des Boden-pH kann nicht nachgewiesen werden (Gl. 3 und 4). Ursache dafür ist der überwiegend gute Kalkungszustand der Ackerstandorte. Die Mehrzahl der Böden liegt bereits im Optimalbereich für eine geringe Schadstoffaufnahme. Die Belastung des Kornes mit Cadmium nimmt in Abhängigkeit des mittleren Gehalts der Bodenbelastungsklassen zu (Tab. 20).

Tabelle 19: Regressionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße für Cadmium im Winterweizenkorn (mg/kg TM);

Nr.	Gleichung	n	B
1	$Cd_{Korn} = 0,129 Cd_{KW} + 0,08$	46	0,51
2	$Cd_{Korn} = 0,937 Cd_{AN} + 0,24$	46	0,37
3	$Cd_{Korn} = 0,128 Cd_{KW} - 0,055 pH + 0,42$	46	0,52
4	$Cd_{Korn} = 1,222 Cd_{AN} + 0,129 pH - 0,56$	46	0,43

Tabelle 20: Cd im Winterweizenkorn, Auswertung nach Bodenbelastungsklassen

Cd (KW) (mg/kg)	Cd_{Korn} (mg/kg)	n	> GW	% > GW
0--0,50	0,11	4	0	0
0,51--1,00	0,16	4	1	25
1,01-1,50	0,23	16	6	37,5
1,51--2,00	0,37	8	6	75
2,01--2,50	0,25	1	1	100
2,51--3,00	0,38	3	3	100
3,01--3,50	0,56	2	2	100
3,51--4,00	0,53	4	3	75
4,01 – 5,33	0,71	4	4	100
	Summe	46	26	Ø = 57

Die BBodSchV fordert bei Überschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten grundsätzlich weitergehende Prüfungen/Bewertungen auch hinsichtlich erforderlicher Maßnahmen. Jedoch ergibt sich aus den vorliegenden Transferuntersuchungen auf der Grundlage des Ammonitratextrakts, auf den sich der Maßnahmewert der BBodSchV bezieht, keine befriedigende Korrelation mit den Cd-Gehalten im Weizenkorn (Tab. 19, Gl. 2). Dies zeigte sich schon in früheren Untersuchungen. Anstatt der nach BBodSchV vorgesehenen Cd-Bodengehalte im Ammonitratextrakt werden daher die

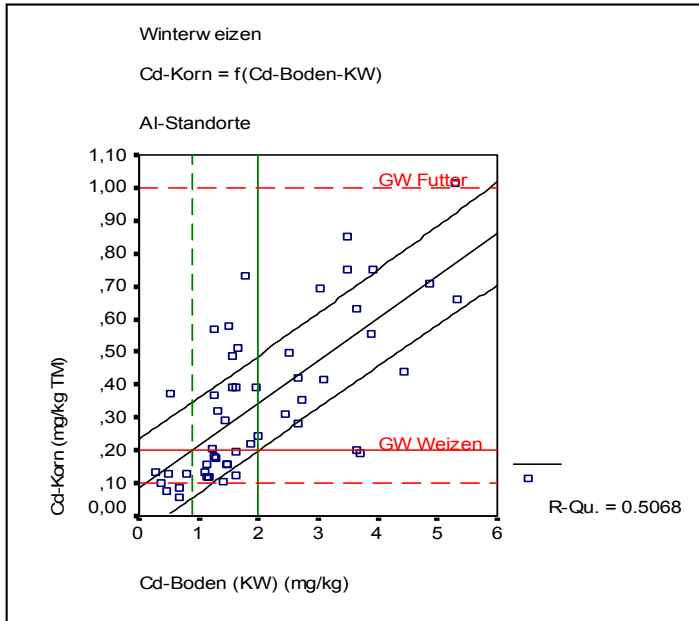


Abbildung 16: Cadmiumgehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden

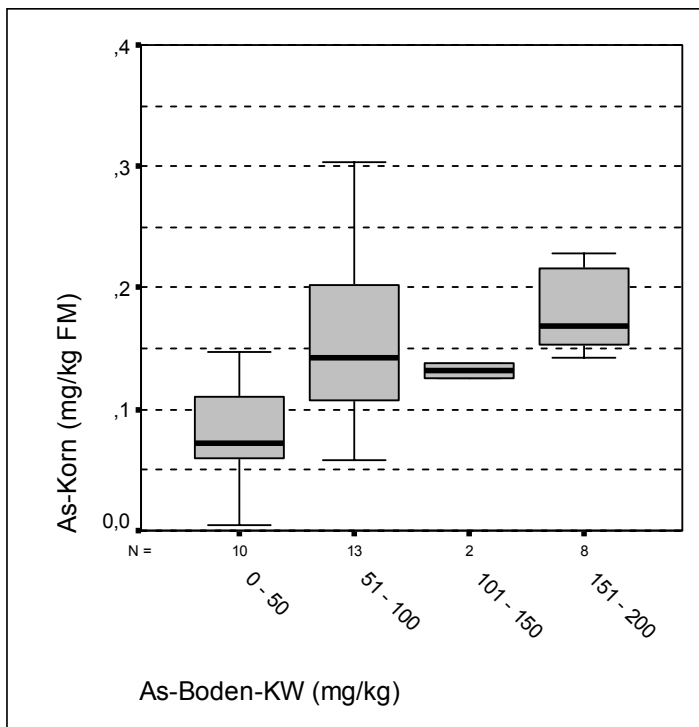


Abbildung 17: Arsengehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden

königswasserextrahierbaren Gehalte zur Gefährdungsabschätzung herangezogen. Diese korrelieren besser mit den Cd-Gehalten im Weizenkorn (Gl. 1). Die Untersuchungen bestätigen im Wesentlichen die im Merkblatt der LfL (April 2003) /10/ getroffenen Aussagen zur Cd-Aufnahme bei Winterweizen.

Cadmium-Grenzwertüberschreitungen im Korn treten nach vorliegenden Untersuchungen vor allem bei Bodengehalten ab 1 mg/kg auf (Abb. 16). Ab dieser Bodenbelastung beträgt die Wahrscheinlichkeit für Grenzwertüberschreitungen nach Lebensmittelrecht mehr als 50 %. Bei Cd-Bodengehalten über 2 mg/kg liegen sämtliche Untersuchungsergebnisse über dem Lebensmittelgrenzwert; die Wahrscheinlichkeit einer Grenzwertüberschreitung beträgt mehr als 80 %. Der Grenzwert nach Futtermittelverordnung wird bis zu einem Bodengehalt von ca. 7 mg Cd/kg Boden eingehalten.

3.4.2 Blei und Arsen

Die untersuchten Böden weisen Bleigehalte zwischen 24 und 415 mg/kg auf, die mobilen Bleigehalte können bis 0,9 mg/kg betragen. Damit wird der Prüfwert der Bodenschutzverordnung (0,1 mg Pb/kg) deutlich überschritten. Die Bestimmtheitsmaße der Beziehungen zwischen den Bleigehalten in Bodenextraktionslösungen und im Erntekorn sind niedrig (Tab. 21). Die Bleiaufnahme von Winterweizenkorn ist gering, die Auswertung nach Bodenbelastungsklassen zeigt die generell geringe Bleibelastung der Kornproben im Vergleich mit dem Lebensmittelgrenzwert von 0,20 mg/kg FM (Tab. 22).

Die hohe Belastung der Auen mit Arsen zeigt sich auch in den untersuchten Ackerböden mit Gehalten bis 200 mg/kg Boden, womit der Prüfwert nach Bodenschutzverordnung erreicht wird. Die Bestimmtheitsmaße für die Beziehungen zwischen Arsengehalten in Bodenextrakten und im Erntekorn sind im Vergleich zum Element Blei zwar besser, liegen aber dennoch relativ niedrig (Tab. 23). Die mittleren Arsengehalte im Erntekorn liegen in der höchsten Belastungsklasse bei 0,18 mg/kg FM (Tab. 24). Zur Einschätzung der Belastung fehlt ein Grenzwert für Lebensmittel. Im Zuge der Harmonisierung von Futter- und Lebensmittelrecht ist jedoch die Wiedereinführung eines Arsengrenzwertes für Lebensmittel zu erwarten.

Der frühere, bis 1979 gültige Richtwert der ZEBS (Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien) lag bei 0,20 mg/kg FM. Bei der Einführung eines Höchstgehalts in ähnlicher Höhe deutet sich in den Flußauen auch ein Arsenproblem an (Abb. 17). Auf Ackerflächen im Untersuchungsgebiet kommen Arsengehalte bis zu 540 mg/kg Boden vor.

Tabelle 21: Regressionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße für Blei im Winterweizenkorn (mg/kg TM)

Nr.	Gleichung	n	B
5	$Pb_{\text{Korn}} = 1,322 Pb_{\text{KW}} + 0,041$	33	0,17
6	$Pb_{\text{Korn}} = 0,078 Pb_{\text{AN}} + 0,056$	33	0,13

Tabelle 22: Bleigehalt in Winterweizenkorn in Abhängigkeit vom Belastungsniveau des Bodens

Pb (KW) (mg/kg)	Pb _{Korn} (mg/kg)	n	> GW (0,20 mg/kg FM)
0--50	0,06	6	0
51--100	0,05	4	0
101--150	0,05	11	0
151--200	0,07	4	0
201--250	0,09	2	0
251 - 415	0,09	6	0
	Summe	33	Ø = 0

Tabelle 23: Regressionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße für Arsen im Winterweizenkorn (mg/kg TM)

Nr.	Gleichung	n	B
7	$As_{\text{Korn}} = 0,0006 As_{\text{KW}} + 0,084$	33	0,31
8	$As_{\text{Korn}} = 1,377 As_{\text{AN}} + 0,098$	33	0,33

Tabelle 24: Arsengehalt in Winterweizenkorn in Abhängigkeit vom Belastungsniveau des Bodens

As (KW) (mg/kg)	As _{Korn} (mg/kg)	n
0--50	0,08	10
51--100	0,16	13
101--150	0,13	2
151--200	0,18	8
	Summe	33

3.5 Boden-Pflanze-Beziehungen bei Triticale

Von 17 Standorten wurden Ergebnisse zum Transfer Boden – Pflanze bei Triticale erhalten. Auch bei Triticale ist der Transfer Boden – Korn besser mittels des Cd-Gehalts im Königswasserextrakt zu beschreiben als aus dem Ammoniumnitratextrakt (Tab. 25). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % wird der Cd-Höchstgehalt für Futtermittel von 1mg/kg bis zu einem Cd-Gehalt im Boden von 6,3 mg/kg eingehalten (Gl. 9). Ab einem Gehalt von 7,4 mg/kg Boden wird mit hoher Wahrscheinlichkeit der Höchstgehalt überschritten (Abb.18).

Der Transfer von Blei in die Pflanze ist gering. Bei Bodengehalten bis 460 mg Pb/kg werden im Triticale-Korn nur maximal 0,10 mg Pb/kg TM festgestellt (Abb. 19). Der Höchstgehalt für Blei in Einzelfuttermitteln beträgt 10 mg/kg TM. Ein auswertbarer Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt in Bodenextrakten und im Korn besteht nicht.

Tabelle 25: Regressionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße für Cd, Pb, As im Triticale-Korn 2003, (mg/kg TM);

Nr.	Gleichung	n	B
9	$Cd_{Korn} = 0,171 Cd_{KW} - 0,07$	17	0,73
10	$Cd_{Korn} = 0,915 Cd_{AN} + 0,20$	17	0,37
11	$Cd_{Korn} = 0,155 Cd_{KW} - 0,108 pH + 0,62$	17	0,77
12	$Pb_{Korn} = 0,001 Pb_{KW} + 0,046$	17	0,08
13	$Pb_{Korn} = 0,007 Pb_{AN} + 0,051$	17	0,02
14	$As_{Korn} = 0,001 As_{KW} + 0,117$	17	0,23
15	$As_{Korn} = 1,873 As_{AN} + 0,103$	17	0,41

Ähnliches gilt für den Arsentransfer. Der Wertebereich umfasst Bodengehalte bis 190 mg As/kg Boden. Dabei beträgt der höchste gemessene Arsengehalt im Korn 0,27 mg/kg TM, das sind 13,5 % des Höchstgehaltes für Einzelfutter (Abb. 20). Der Zusammenhang zwischen Gehalt im Königswasserextrakt und im Korn ist schwach (B = 0,23), auf der Grundlage des As-Gehalts im Ammoniumnitrat-Extrakt wird eine etwas bessere Beziehung erhalten.

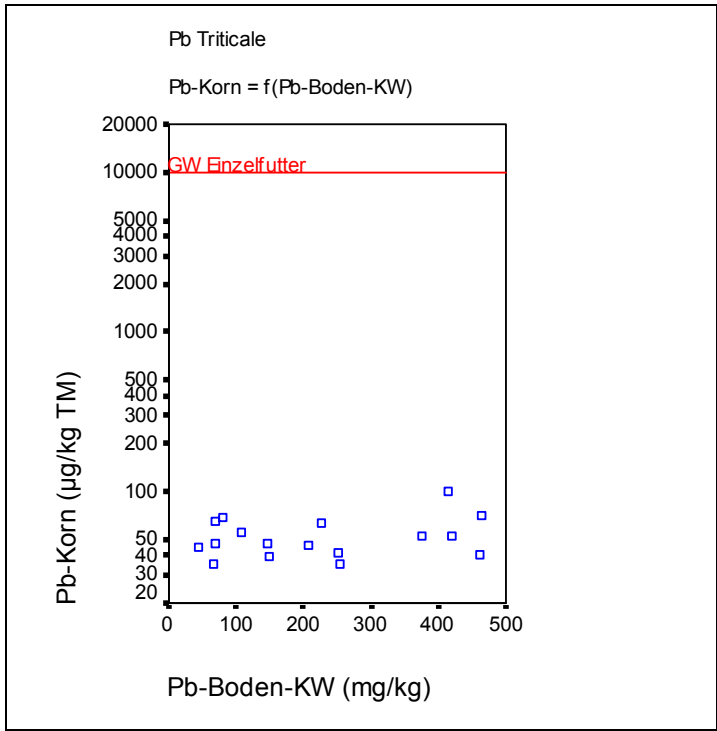


Abbildung 18: Triticale, Cadmiumgehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden

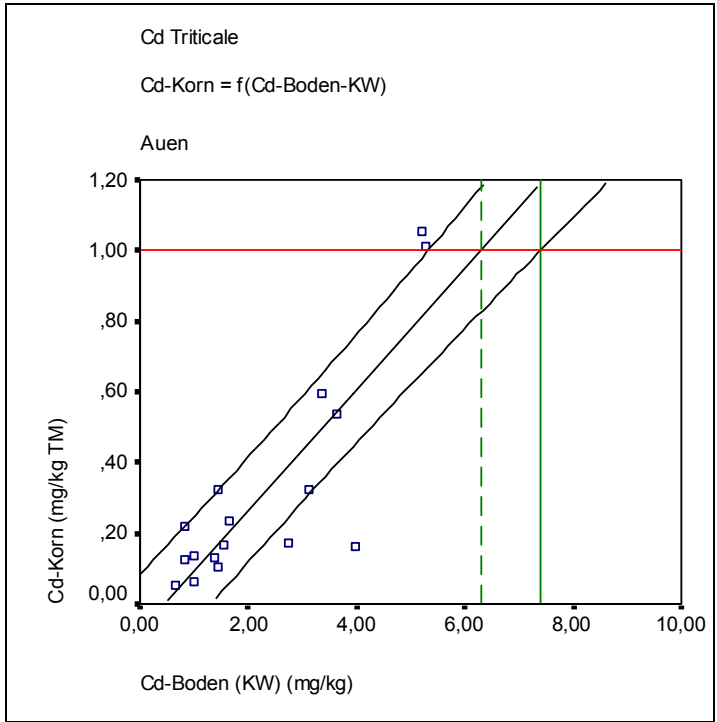


Abbildung 19: Triticale, Bleigehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden

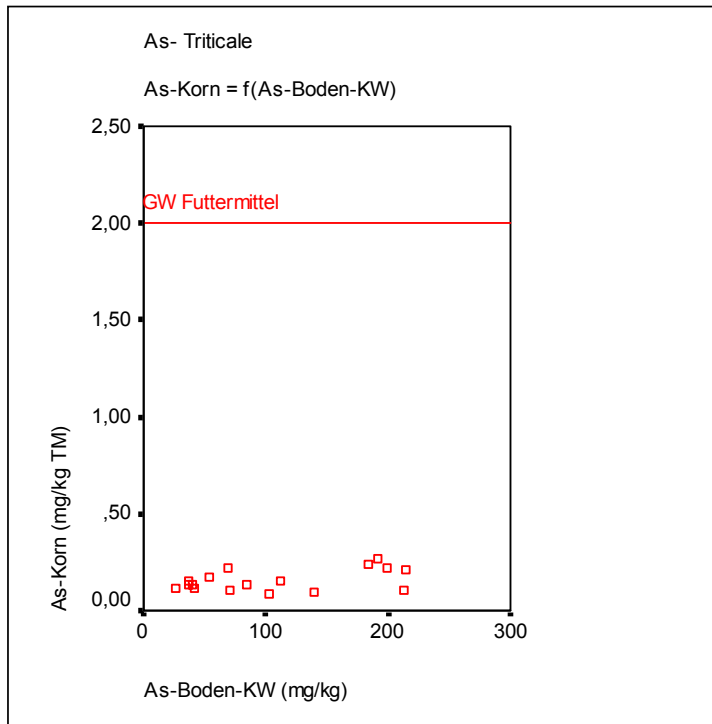


Abbildung 20: Triticale, Arsengehalt im Korn, Abhängigkeit vom Gehalt im Boden

Der Anbau von Triticale als Futtermittel ist auf den Auenböden der vereinten Mulde zumeist problemlos möglich. Überschreitungen der Futtermittelhöchstgehalte für Arsen und Blei sollten im Untersuchungsgebiet nicht vorkommen, die Gehalte im Korn sind niedrig.

Für Cadmium ist bis zu einem Bodengehalt von ca. 7 mg/kg kaum mit Überschreitungen des Futtermittelgrenzwertes zu rechnen. Bei höheren Bodengehalten kann es zu Grenzwertüberschreitungen kommen. Ab Bodengehalten von 7 mg/kg ist der Cd-Gehalt des Futtermittels ist zu bestimmen.

3.6 Untersuchungen in Kleingärten der Muldenaue

Die Böden der untersuchten Kleingartenanlagen in Wurzen und Eilenburg weisen beträchtliche Gehalte an Cadmium und Blei auf (Tab. 26). Besonders zu beachten sind die recht hohen königswasserlöslichen Minimalgehalte beider Elemente. Die Gehalte im Ammoniumnitrat-Extrakt sind dagegen als niedrig einzuschätzen und erreichen für Cadmium nur im Ausnahmefall den Maßnahmewert für stark anreichernde Gemüsearten. Ähnliches gilt für Blei.

Insgesamt wurden 130 Pflanzen- und Bodenproben in die Bewertung einbezogen. Das Spektrum der Ernteproben war naturgemäß groß und umfasste 27 Arten, davon zwei Obstarten (Apfel und Rhabarber) und 25 Gemüse. Am häufigsten sind Möhren (16), Kartoffeln (15) und Bohnen (14) vertreten (Tab. 27). Es werden deutlich mehr Überschreitungen des Lebensmittelhöchstwertes bei

Blei als bei Cadmium festgestellt. Generell bestätigen sich die Anbauempfehlungen für schwermetallbelastete Gebiete, wie sie im Merkblatt der LfL /10/ gegeben wurden.

Tabelle 26: Schwermetallgehalte in Kleingartenböden (mg/kg Boden)

	pH	Cd (KW)	Cd (AN)	Pb (KW)	Pb (AN)
min	6,3	2,02	0,010	204	0,010
MW	6,9	3,79	0,023	426	0,042
max	7,2	6,30	0,043	773	0,140
BBodSchV		2,00 (P)	0,040 (M)	---	0,100 (P)

Tabelle 27: Überschreitungen des Lebensmittelgrenzwertes bei Obst und Gemüse; Kleingartenanlagen im Projektgebiet Vereinigte Mulde (2003)

Art	Probenanzahl	Anzahl Grenzwertüberschreitungen für Cd	Überschreitung Cd-Grenzwert ab (mg/kg Boden)	Anzahl Grenzwertüberschreitungen für Pb	Überschreitung Pb-Grenzwert ab (mg/kg Boden)
Apfel	1				
Blumenkohl	1				
Bohne	13				389
Bohnenkraut	2			2	217
Dill	6	1	2,8	3	217
Eisbergsalat	2	2	4,1	2	389
Erbse	2				
Estragon	1	1	4,0	1	432
Gurke	4			1	284
Kartoffel	15			5	204
Kohlrabi	3				
Majoran	1			1	293
Möhre	16	5	4,0	15	284
Petersilie	7			6	234
Petersilienwurzel	2	1	5,6	2	432
Radies	2			2	284
Rettich	2			2	234
Rhabarber	8	6	4,0	8	234
Rote Beta	5	3	2,5	3	234

Art	Probenanzahl	Anzahl Grenzwertüberschreitungen für Cd	Überschreitung Cd-Grenzwert ab (mg/kg Boden)	Anzahl Grenzwertüberschreitungen für Pb	Überschreitung Pb-Grenzwert ab (mg/kg Boden)
Salat	3			2	284
Schnittlauch	3			2	483
Schwarzwurzel	1	1	5,6	1	773
Sellerie	6	6	2,5	6	234
Spargel	1			1	284
Succini	4			2	389
Tomate	5				
Zwiebel	12			2	284

4 Empfehlungen für den Umgang mit schwermetall- und arsenbelasteten Flächen

4.1 Optimierung des pH-Wertes

Der anzustrebende pH-Bereich liegt bei 5,8 bis 6,5, der Kalkbedarf ist der Tabelle 28 zu entnehmen. Dabei sollten die Einmalgaben 40 dt CaO/ha (Acker-) bzw. 25 dt CaO/ha (Grünland) nicht überschreiten. Zu hohe Kalkgaben können insbesondere die Arsenaufnahme von Pflanzen begünstigen. Die Kalkung trägt zur Verringerung des Schwermetalltransfers unterstützend bei, auf leicht versauernden Verwitterungsböden wirksamer als auf Auenböden.

Tabelle 28: Ermittlung des Kalkbedarfs bei vorliegendem pH-Wert des Bodens

pH-Wert	5,7 ... 5,4	5,3 ... 4,9	4,8 ... 4,4	< 4,4
	Kalk (dt CaO/ha)			
Ackerland	15	35	50	70
Grünland und Ackerland >4 % org. Substanz	8	18	25	35

4.2 Phosphordüngung

Durch eine Phosphordüngung zu Beginn der Vegetationsperiode (keine Vorratsdüngung) kann der Arsentransfer in die Pflanze zurückgedrängt werden, weil Phosphor und Arsen bei der Aufnahme durch die Wurzel konkurrieren.

4.3 Anbauempfehlungen

4.3.1 Getreideanbau

Wird bei Untersuchungen eine Überschreitung des Höchstgehalts in Brotweizen (0,2 mg Cd/kg Frischgewicht) nachgewiesen, kann ein Ausweichen auf Roggen oder Gerste erfolgreich sein, weil die genannten Arten ein gegenüber Weizen verringertes Aufnahmevermögen für Cadmium aufwei-

sen. Es ist jedoch der geringere zulässige Höchstgehalt nach EG-Richtlinie von 0,1 mg/kg Frischgewicht zu beachten.

Der Verzicht auf den Anbau von Kulturen, die als Lebensmittel in Verkehr gebracht werden sollen, zu Gunsten der Produktion von Futtergetreide oder Feldfutter, kann vom Standpunkt der Schwermetallbelastung her sinnvoll sein, der zulässige Futtermittelhöchstgehalt liegt bei Cadmium deutlich über dem von Lebensmitteln. In diesem Falle ist der Futtermittelhöchstgehalt für Arsen zu beachten.

4.3.2 Obst- und Gemüseanbau

Hinweise zur Eignung verschiedener Obst- und Gemüsekulturen für den Anbau in schwermetallbelasteten Gebieten gibt die Tab. 29:

Tabelle 29: Anbauempfehlungen für schwermetallbelastete Gebiete

Schwermetallaufnahme			
erhöht		mittel	gering
Blattgemüse	Wurzelgemüse	Kohlgemüse	alle Obstarten
Stängelgemüse	Möhren	Blumenkohl	Bohnen
Spinat	Petersilienwurzel	Kopfkohl	Erbsen
Blattsalat	Radieschen	Kohlrabi	Gurken
Kresse	Rettich	Broccoli	Paprika
Küchenkräuter	Rote Bete	Grünkohl	Tomaten
Rhabarber	Schwarzwurzel	Rosenkohl	
	Sellerie	Porree	
		Zwiebeln	
		Knoblauch	
		Erdbeeren	
		Kartoffeln	
Anbau nicht geeignet		Anbau bedingt geeignet	Anbau geeignet

4.4 Sortenabhängige Schwermetallaufnahme

Durch Wahl einer geeigneten Sorte kann die Aufnahme von Schadelementen in begrenztem Umfang beeinflusst werden. Für Winterweizen und Sommergerste liegen Ergebnisse zur sortenabhängigen Cadmiumaufnahme vor (Abb. 21 und 22)

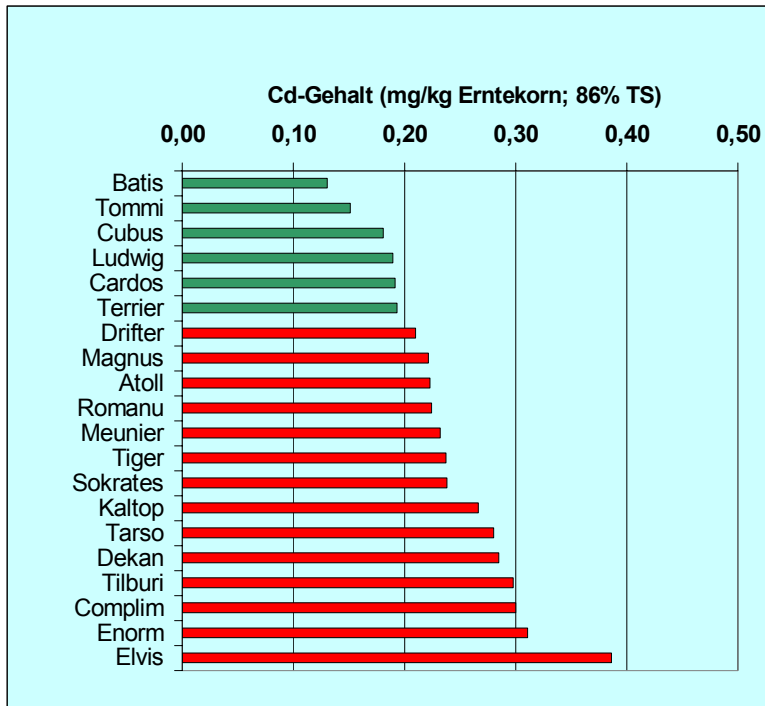


Abbildung 21: Winterweizen, sortenabhängige Cd-Aufnahme

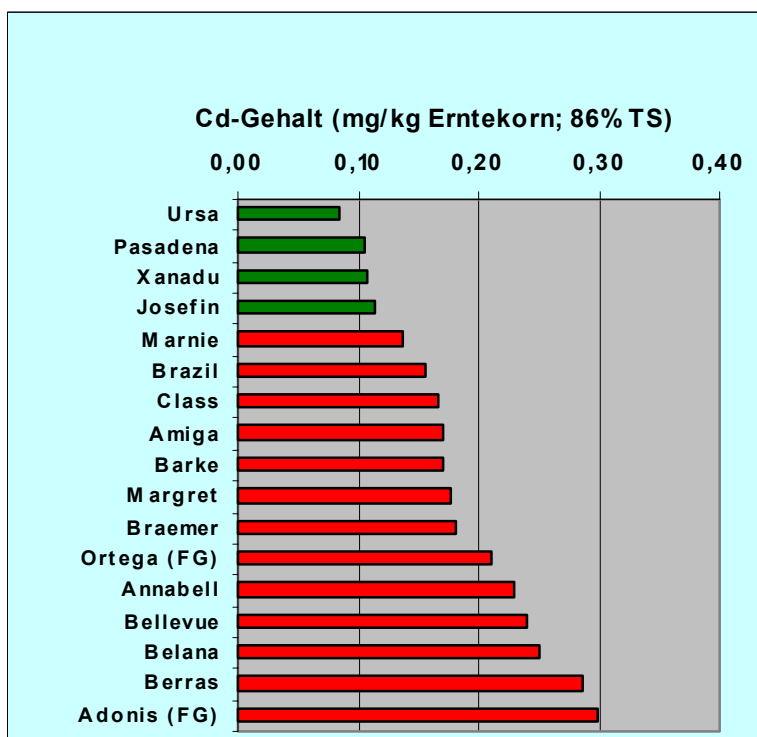


Abbildung 22: Sommergerste, sortenabhängig. Cd-Aufnahme

4.5 Umwandlung von Acker- in Grünland

Die Umwandlung von Acker- in Grünland ist sinnvoll, wenn trotz Anwendung aller Maßnahmen zur Verringerung der Cadmiumaufnahme in die Nutzpflanze der Höchstgehalt nach EG-Lebensmittelverordnung überschritten wird und der Arsengehalt der betroffenen Fläche unbedenklich ist. Die Umwandlung von Ackerland in extensives Grünland kann finanziell gefördert werden (siehe Punkt 4.7).

4.6 Futtererzeugung

In Gebieten mit hohen Schwermetallgehalten im Boden bestimmt die Verschmutzung der Pflanzen mit anhaftendem Boden den Schwermetallgehalt des Futters. Durch Beachtung der in Tabelle 30 aufgeführten Maßnahmen kann die Verschmutzung des Futters vermindert werden.

Die Änderung der Grünlandzusammensetzung durch Nachsaat entsprechender Gräser kann den Schwermetallgehalt des Futters beeinflussen. Gräser nehmen gegenüber Wiesenkräutern weniger Schwermetalle auf. Der Cadmiumgehalt von Weidegräsern beträgt z. B. nur 30 – 50 % des Gehalts von Weidekräutern. Zumindest auf stark verkrauteten Flächen sollte damit eine Verringerung des Schwermetallgehalts des Grünfutters erreichbar sein.

4.7 Flächenumwidmung

Führen die vorgeschlagenen Maßnahmen nicht zur Einhaltung der gesetzlichen Höchstgehalte für landwirtschaftliche Produkte, ist die Umwidmung der betroffenen Acker- oder Grünlandfläche in Betracht zu ziehen. Verschiedene Vorhaben zur Flächenumwidmung können gefördert werden (Tab. 31). Die Höhe der Förderung ist abhängig vom Standort und/oder Nutzung der Fläche.

Tabelle 30: Verminderung der Verschmutzung des Futters mit Boden bei der Aufnahme von Grünland- und Ackerfutter (nach: Elsässer/Nußbaum, LVVG Aulendorf 1993)

Ursache der Verschmutzung	Maßnahme zur Abhilfe
<i>1. Schnittnutzung bei Grünland (Grünfutter, Silage, Heu)</i>	
lückiger Pflanzenbestand	*Nach- oder Übersaat
ungünstige Zusammensetzung des Pflanzenbestandes	*standortgerechte Arten- und Sortenwahl
	*Anpassung von Düngung und Nutzung
	*häufigere Nutzung ergibt dichte Narbe
	*Unkrautbekämpfung
Fahrspuren	*Befahren nur bei ausreichender Anpassung der Bereifung an das Gewicht
Maschineneinstellung	*höher mähen, 5 - 7 cm stehen lassen
häufige Bearbeitung	*zügiges Anwelken mit großer Schlagkraft
	*Verzicht auf einen Wendevorgang durch Konservierungsverfahren, bei denen rascheres Einfahren möglich ist (z.B. Heubelüftung an Stelle von Bodenheubereitung, Siliermitteleinsatz)
Futtertransport	*Vermeiden von Staubentwicklung beim Transport zur Anpassen der Fahrgeschwindigkeit
Futtereinlagerung	*im Fahrsilo Überfahren des Futters nur mit sauberen Schlepperreifen
	*im Hochsilo Zwischenlagerung des Futters vor Gebläsebeschickung nur auf befestigter Bodenplatte bzw. Befüllung über Dosiergerät
nasses oder feuchtes Grünfutter	*Mahd möglichst bei abgetrocknetem Pflanzenbestand
	*späterer Schnittzeitpunkt am Tag
	*an Regentagen schonende Ackerfuttermahd mit größerer Schnitthöhe

Ursache der Verschmutzung	Maßnahme zur Abhilfe
<i>2. Weidewirtschaft (auf Grünland und Ackerfutterflächen)</i>	
Narbenschäden	*Nach- bzw. Übersaat
	*kurze Weidephasen bei Regen oder feuchtem Boden
	*bei nasser Witterung ist auf das Beweiden von Ackerfutter zu verzichten
	*angepaßter Viehbesatz
	*Wechsel der Weidetore und Tränkestelle
	*Unterstand mit befestigter Bodenplatte
zu tiefe Nutzung	*durch Einkalkulieren von genügend Weiderest (ca. 20% des Futteraufwuchses) sollte die Verbißtiefe gesteuert werden (optimal: 3 -5 cm)
	*Viehbesatz reduzieren
	*rechtzeitiger Weidewechsel
Starkregen	*Auftrieb nicht unmittelbar nach Starkregenfällen (Verschmutzung des Futters)
<i>3. Ackerfutter</i>	
lückiger Pflanzenbestand	*bei besonders lückigem Bestand Verzicht auf Futternutzung
Lager	*Verwendung standfester Sorten
	*kein Anbau leicht lagernder Zwischenfrüchte (z.B. Erbsen)
zu tiefe Nutzung	*bei Schnittnutzung von Ackerfutter die entsprechenden Regeln für Grünland beachten
	*hoher Schnitt (5 - 7 cm)
unregelmäßige Bodenoberfläche	*auf gleichmäßige Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung achten
anhaftende Erde bei Futter- und Stoppelrüben	*nur gewaschen verfüttern
	*besser auf Silomais, Klee gras o.ä. ausweichen
	*Verzicht auf Feldzwischenlagerung bei Rübenblatt

Tabelle 31: Umwidmung von landwirtschaftlichen Flächen

Maßnahme	Beihilfe (€/ha · a)
Umwandlung von Ackerland in naturschutzgerecht bewirtschaftetes Grünland	360 – 450 ¹⁾
Langfristige Stilllegung landwirtschaftlicher Nutzfläche zur Biotopentwicklung	380 – 630 ¹⁾
Pflege aufgegebenener landwirtschaftlicher Flächen	210 ¹⁾
Pflege von Streuobstwiesen	205 – 450 ¹⁾
Erstaufforstung	690 (20 Jahre) ²⁾
Stilllegung, nachfolgender Anbau nachwachsender Rohstoffe gestattet	ca. 392 ³⁾

¹⁾ Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Freistaat Sachsen 2000 – 2006, Herausgeber:

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)

²⁾ Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung der ökologischen Waldmehrung im Freistaat Sachsen – vom 11. März 2003 – RL-Nr. 93/2003

³⁾ EG-Verordnung 1251/1999 zur Nutzung stillgelegter Flächen für die Erzeugung von Ausgangserzeugnissen, die in der Gemeinschaft zur Herstellung von nicht unmittelbar zu Lebens- oder Futtermittelzwecken bestimmten Erzeugnissen

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die hohen As- und Schwermetallgehalte in den Auenböden der Vereinigten Mulde stehen im ursächlichen Zusammenhang mit den geogenen und anthropogenen Bodenbelastungen in den erzgebirgischen Bergbau- und Hüttenstandorten (Freiberg, Ehrenfriedersdorf, Aue - Schneeberg). Das Hochflutereignis vom August 2002 mit seinen Schlammablagerungen in Siedlungsgebieten, Haus- und Kleingärten sowie auf landwirtschaftlich genutzten Flächen war zwar für die Betroffenen katastrophal, kann aber bei der Betrachtung der geologischen Prozesse der Auenbodenbildung und Stoffakkumulation quasi vernachlässigt werden.

Als Folge der Flut und der umzusetzenden Hochwasserschutzmaßnahmen veranlasste das SMUL im Rahmen eines Pilotprojektes die flächenhafte Untersuchung der stofflichen Belastungen der Auenböden im Bereich der Vereinigten Mulde. Das LfUG und die SLS waren für die flächendeckende Untersuchung der Schadstoffsituation in den Böden (ca. 7.900 ha), die LfL für die Transferbeziehungen Boden - Pflanze (Grünland, Acker) hinsichtlich kritischer Bodengehalte für die Überschreitung der Grenzwerte nach Lebens- und Futtermittelrecht sowie die Untersuchung von drei ausgewählten Kleingartenanlagen zuständig.

Nach Untersuchung von über 4.000 Bodenproben muss festgestellt werden, dass der As-Maßnahmenwert der BBodSchV (50 mg/kg) auf ca. 80 % der Grünlandflächen überschritten wird. Auf den Ackerstandorten sind besonders die hohen Cd-Gehalte problematisch, wonach der Beurteilungswert der LfL (>2 mg) auf ca. 26 % der Anbaufläche überschritten wird. Die sehr hohe flächenhafte Untersuchungsichte von 16 bis 100 Proben/km² ermöglicht eine schlagbezogene Be-

wertung und die Festlegung spezifischer Maßnahmen der Bewirtschaftung bis hin zu einer evtl. notwendigen Nutzungsänderung.

Die Einhaltung der futter- und lebensmittelrechtlichen Vorschriften im Bereich der Vereinigten Mulde erfordert eine detaillierte Reaktion auf die vorliegende Kontamination mit Schwermetallen bzw. Arsen. Auf Grünlandstandorten besteht für die Einhaltung des Arsengrenzwertes der Futtermittelverordnung bis zu einem Bodengehalt von 50 mg/kg keine Gefahr. Auch weit darüber hinaus ist die Produktion unbelasteten Futters möglich, jedoch nicht sicher. Der Maßnahmewert der BBodSchV stellt in diesem Falle eine Grenze dar, bei deren Überschreitung die Bestimmung des Arsengehalts im Futter, auch im Sinne der geforderten Eigenkontrolle, den Landwirten unbedingt empfohlen wird. Mit ansteigendem Arsengehalt im Boden steigt auch der Anteil der äußerlichen Verschmutzung der Futtermittel an der Arsen-Gesamtbelastung. Der verschmutzungsarmen Gewinnung des Grünfutters muss deshalb besondere Beachtung geschenkt werden.

Die Winterweizenproduktion zu Nahrungszwecken ist im Untersuchungsgebiet bis zu einem Cadmiumgehalt im Ackerboden von 1 mg/kg ohne Einschränkungen sicher. Bis zu einem Bodengehalt von 2 mg Cd/kg kann diese auch weiter erfolgen, wenn transfermindernde Maßnahmen, wie z.B. der Einsatz cadmium-unempfindlicher Sorten, zur Anwendung kommen. Das Erntekorn sollte bei Bodengehalten über 1 mg/kg untersucht werden. Besonders empfohlen werden hierzu Vor-Ernte-Untersuchungen, die für den Landwirt in zweifacher Hinsicht vorteilhaft sind. Zu einem frühen, noch vor der Ernte liegenden Zeitpunkt wird eine Aussage über die zu erwartende Belastung des Erntekorns erhalten, womit eine rechtzeitige Entscheidung zur Vermarktung als Nahrungs- bzw. Futtergetreide oder zur energetischen Nutzung getroffen werden kann. Weiterhin wird die Forderung nach einer Eigenkontrolle des Erzeugers erfüllt.

Bis zu einem Cadmiumgehalt im Boden von 7 mg/kg ist die Produktion von Futtergetreide möglich. Bei darüber hinausgehenden Cadmium-Bodengehalten ist die Einhaltung der futtermittelrechtlichen Bestimmungen nicht mehr gewährleistet und sollte unterbleiben. Die auf der Grundlage der Bodenuntersuchungen im Zusammenhang mit den Transferuntersuchungen erstellten Belastungskarten geben den Landwirten im Untersuchungsgebiet eine wesentliche Hilfe bei der Bewertung der vorliegenden Schadstoffbelastung.

Nach den vorläufigen Ergebnissen des Auenmessprogramms des LfUG mittels Transsekten, sind neben der Aue der Vereinigten Mulde auch Auenböden anderer Flüsse von hohen As- und Schwermetallbelastungen betroffen. Dies gilt besonders für die Freiburger Mulde, Zschopau, Zwickauer Mulde und in geringerem Maße für die Elbe. Zur detaillierten Beurteilung und der Umsetzung von Maßnahmen (z. B. Aufforstungen) sind flächendeckende Aufnahmen mindestens im Maßstab 1 : 25.000 (ca. 16 Proben/km²) notwendig. Durch Anwendung des kostengünstigen Bodenscan-Messverfahrens können verlandete Altarme, Senken und Rinnen als Gebiete mit erhöhtem Schadstoffpotenzial vorkundet und die Probenahmestrategie optimiert werden.

6 Literatur

- /1/ RANK, G.; KARDEL, K. & KLOSE, R. (2003): Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung auf schadstoffbelasteten Flächen im Freistaat Sachsen – Pilotprojekt Auenböden Vereinigte Mulde – (Konzeption). – unveröff. Ber. LfUG/LfL, Freiberg/Leipzig.
- /2/ SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (2003): Erlass Umsetzung Pilotprojekt. – SMUL Dresden.
- /3/ MARX, V. & KLOSE, R. (2004): Landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung auf schadstoffbelasteten Flächen im Freistaat Sachsen – Pilotprojekt Auenböden Vereinigte Mulde (Abschlussbericht). – unveröff. Ber. LfUG/LfL, Freiberg/Leipzig.
- /4/ HEILMANN, H. & KLOSE, R. (2005): Schwermetall- und Arsenuntersuchungen in Auenböden der Vereinigten Mulde. – 1. Sächsisch-thüringische Bodenschutztag, 23./24.06.2005 Gera, Tagungsband i. Druck.
- /5/ GREIF, A., PÄLCHEN, W., RANK, G. & WEIDENSCHÖRNER, H. (2004): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 2 – Spurenelementgehalte in Bachsedimenten. – Materialien zum Bodenschutz, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- /6/ RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W. & WEIDENSCHÖRNER, H. (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3: Bodenmessnetz Raster 4 km x 4 km. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- /7/ SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (1992): Untersuchung sächsischer Böden auf Belastungen mit Schwermetallen und organischen Rückständen. – unveröff. Bericht LfL Leipzig.
- /8/ RANK, G. (2004): Zur Arsen- und Schwermetallbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002 in Sachsen. – Z. Wasser und Abfall H. 3, Wiesbaden.
- /9/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) – BGBl. I S. 1554.
- /10/ SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2003): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landw. und gärtnerisch genutzten Böden – Merkblatt

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen
- Autoren:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen
Dr. Ralf Klose
Gustav-Kühn-Straße 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341-9174-208
Telefax: 0341-9174-211
E-Mail: ralf.klose@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Günter Rank
Zur Wetterwarte 11
01109 Dresden
Telefon: 03731-294-224
Telefax: 03731-22918
E-Mail: guenter.rank@lfug.smul.sachsen.de
- Volker Marx
z. Z. Regierungspräsidium Dresden, Umweltfachbereich Radebeul
Wasastr. 50
01445 Radebeul
Telefon: 0351-835-3369
Telefax: 0351-835-4240
E-Mail: volker.marx@rpdd.sachsen.de
- Titelbild:** F. Franzke (2001)
Copyright: © 2006, Landesvermessungsamt Sachsen (Abbildungen 4, 9, 10, 11)
Redaktion: siehe Autoren
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612 - 345
Telefax: 0351/2612 - 151
E-Mail: birgit.seeber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Januar 2006

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.