Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V.

Wissenschaftliche Primär- und Sekundärliteraturanalyse zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf schwermetallkontaminierten Arealen der Region Freiberg und Bergbaufolgeflächen der Region Chomutov

Studie - Abschlussbericht

2013

Herausgeber:
Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V.
Hauptstr. 13, 09623 Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz
RekultA-Kontaktbüro, Hauptstr. 150, 09599 Freiberg

Text: Adriana Hotho im Rahmen des Ziel3-Projektes „RekultA“[1]

Gefördert durch das Ziel3/Cíl-Programmes der EU zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit 2007-2013 zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik

---

[1] REKULTA: Rekultivierung großflächig schwermetallbelasteter Areale und Bergbaufolgelandschaften der Euroregion Erzgebirge durch standortangepaßte Anbausysteme nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Verwertung

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 1

1.1 Hintergrund, Ziel- und Aufgabenstellung 1

1.2 Vorgehensweise / Methodik 2

1.3 Abgrenzung der Thematik 3

2 Analyse der regionalen Ausgangssituation 4

2.1 Schwermetallbelastete Böden und Bergbaufolgelandschaften 4

2.2 Region Freiberg 9

2.2.1 Bodenbelastungen im Raum Freiberg 13

2.2.2 *Landwirtschaftliche Produktion auf schwermetallbelasteten Flächen* 18

2.2.3 Schwermetallaufnahme von Energiepflanzen und landwirtschaftlichen Produkten 19

2.2.4 Auswirkungen von Schwermetallen auf die Nutzbarkeit von Biomasse 23

2.2.5 Derzeitige Verwertung der auf schwermetallbelasteten Flächen angebauten, landwirtschaftlichen Rohstoffe 26

2.3 Region Chomutov 27

3 Alternative landwirtschaftliche Bodennutzung und Biomasseverwertung 29

3.1 Anbau innovativer Energiepflanzen und deren Schwermetallverhalten 29

3.2 Energetische Verwertung kontaminierter Energiepflanzen 33

3.3 Innovative Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung 34

4 Zusammenfassung 39

4.1 Ergebnisbewertung und Empfehlungen für die Freiberger Region 39

4.2 Geeignete Pflanzen für die Freiberger Region 39

4.3 Fortsetzung der Arbeiten 40

Abbildungsverzeichnis 42

Tabellenverzeichnis 43

Literatur- und Referenzverzeichnis 44

Anhang 47

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AbfKlärV	**Abfall- und Klärschlammverordnung**
As	**Arsen**
BBodSchV	**Bundesbodenschutzverordnung**
BBodSchV	**Bundesbodenschutzgesetz**
BfUL	**Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (Sachsen)**
BImSchV	**Bundesimmissionsschutzverordnung**
BioAbfV	**Bioabfallverordnung**
BK	**Belastungsklasse**
BPG	**Bodenplanungsgebiet**
BtL	**Biomass to Liquid**
Cd	**Cadmium**
DepV	**Deponieverordnung**
DüMV	**Düngemittelverordnung**
ha	**Hektar**
KrW-/AbfG	**Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz**
KUP	**Kurzumtriebsplantagen**
LfUG	**Landesamt für Umwelt und Geologie (Sachsen)**
LfULG	**Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Sachsen)**
oTS	**Organische Trockensubstanz**
Pb	**Blei**
red. Bed.	**Reduzierte Bedingungen**
SÄCHSABG	**Sächsisches Abfall- und Bodenschutzgesetz**
TM	**Trockenmasse**
U	**Uran**
VO	**Verordnung**

1 EINLEITUNG

1.1 Hintergrund, Ziel- und Aufgabenstellung

Das Gebiet des Erzgebirges wurde seit mehreren hundert Jahren vom Bergbau geprägt und beeinflusst. Folge dieser langen Nutzung sind sowohl auf deutscher als auch auf tschechischer Seite teils massive Veränderungen der Eigenschaften von Böden sowie des Landschaftsbildes. In der Freiberger Region kam es neben regional vorgegebenen geogenen Belastungen zu großflächigen Anreicherungen von Schwermetallen im Oberboden durch den Bergbau. Die Region um Chomutov ist geprägt vom starken Eingriff des Tagebaus, wodurch großflächige Devastierungen der Landschaft entstanden.

Diese spezifische Situation macht eine Diskussionen und Erarbeitung einer Herangehensweise für eine nachhaltige Nutzung von Flächen notwendig. Der Begriff „Nachhaltigkeit“ hat seinen Ursprung in der Freiberger Region - geprägt durch Hannß Carl von Carlowitz und wird im Jahr 2013 bereits 300 Jahre alt. Aus dieser traditionellen Verwurzelung und der Verantwortung für kommende Generationen ist die Belebung des Begriffs „Nachhaltigkeit“ schon aus regionaler Sicht erstrebenswert. Für die Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln ergibt sich hierbei eine Problematik für den agrarwirtschaftlichen Anbau. Ist eine Überschreitung der Grenzwerte in Lebens- und Futtermittelpflanzen festgestellt worden, so müssen Landwirte ihre Produkte in der Regel als Abfall deklarieren. Hohe wirtschaftliche Verluste sind die Folge (Saxonia 2010). Als Chance und Alternative für die Landwirtschaft sowie auch für die regionale Energieerzeugung bietet sich die Produktion und Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Verwertung an.

Das binationale ZIEL-3-Projekt RekultA "Rekultivierung großflächig schwermetallbelasteter Areale und Bergbaufolgelandschaften der Euroregion Erzgebirge durch standortangepasste Anbausysteme nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Verwertung“ beschäftigt sich mit dem Anbau von innovativen Energiepflanzen auf kontaminierten Böden und dem Aufbau von regionalen und grenzüberschreitenden Wertschöpfungsketten. Damit soll ein Beitrag zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit für die Region sowie eine nachhaltige Nutzung von belasteten und degradierten Flächen erreicht werden.

Eine Aufgabenstellung im Rahmen des ZIEL-3-Projektes RekultA ist die Erarbeitung der Studie mit dem Titel „Wissenschaftliche Primär- und Sekundärliteraturanalyse zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf schwermetallkontaminierten Arealen der Region Freiberg und Bergbaufolgeflächen der Region Chomutov“. Mit Bezug zur aktuellen Situation der Region, der Standorte und zu alternativen Anbausystemen soll ein Überblick zu in den letzten Jahren erschienen, thematisch relevanten Publikationen gegeben werden. Weiterhin wird kurz auf die aktuellen politischen Bedingungen, die Rechtslage sowie den Bioenergiemarkt eingegangen.

Die Auswertung bestehender Studien zum Anbau nachwachsender Rohstoffe auf schwermetallkontaminierten Arealen und Bergbaufolgeflächen konzentriert sich dabei neben einer ausführlichen Beschreibung der Ausgangslage insbesondere auf folgende Punkte in Bezug auf Energiepflanzen:

- Sortenwahl und Fruchtfolge
- Pflege- und Düngung
- Anbauformen
- Schwermetall- / Wasseraufnahmevermögen
- Rechtsverordnungen und Wirtschaftlichkeit.

1.2 Vorgehensweise / Methodik

Für die Erstellung der vorliegenden Studie wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Die ausgiebige Betrachtung von landwirtschaftlich relevanten Schwerpunkten fand für die Themenbereiche schwermetallbelastete Böden, Bergbaufolgelandschaften sowie Energiepflanzen statt. Neben pflanzenbaulichen Gesichtspunkten wurden auch die verschiedenen Möglichkeiten der energetischen Verwertung betrachtet. Weiterhin fanden auch rechtliche, politische sowie wirtschaftliche Aspekte Eingang in die Studie.

Zur Erfassung aller wesentlichen wissenschaftlichen Publikationen erfolgte zunächst eine systematische Literaturrecherche. Dazu wurden verschiedene Quellen herangezogen, die auf Grundlage der Aufgabenstellung ausgewählt wurden und sich thematisch mit nachwachsenden Rohstoffen sowie degradierten und devastierten Flächen beschäftigten. Als nächstes erfolgte eine Bewertung der vorgefundenen Publikationen hinsichtlich ihrer Eignung für die vorliegende Studie. Insbesondere wurde Wert gelegt auf Aktualität, einen regionalen Bezug und eine wissenschaftliche Darstellung. Die verwendeten Quellen sind im Anhang einzusehen.

Für die Literaturanalyse wurden vorrangig eine Primär- sowie eine Sekundäranalyse vorgenommen. Die Primäranalyse bezieht sich hierbei auf die erstmalige Nutzung und Auswertung einer Publikation, während unter der Sekundäranalyse eine erneute Nutzung einer Publikation unter geänderten Bedingungen des Forschungsansatzes beziehungsweise des theoretischen Bezugssystems verstanden wird.

Bei der Unterteilung der Arbeit in die verschiedenen Kapitel wurde vor allem eine Betrachtung der allgemeinen sowie regionalen Ausgangssituation und des Pflanzenbaus, der Verwertung sowie der Ökonomie von Energiepflanzen vorgenommen. Die Ausgangssituation wurde zunächst allgemein betrachtet, wobei die räumliche Verteilung der kontaminierten Böden und Bergbaufolgelandschaften sowie deren aktuelle Nutzung beachtet wurden. Genauer wurde die regionale Ausgangssituation in Bezug zur Region Mittelsachsens analysiert. Dabei wurde auf Bodenbelastungen und den Anbau von Nahrungsgetreide und nachwachsenden Rohstoffen auf

schwermetallbelasteten Flächen eingegangen. Weiterhin wurden Auswirkungen von Schwermetallen auf die Biomassenutzbarkeit, die Schwermetallaufnahme von Energiepflanzen und landwirtschaftlichen Produkten, die aktuelle Verwertungssituation sowie Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung betrachtet. In Kapitel 3 wurde schließlich ein Überblick zu den verfügbaren Energiepflanzen vorrangig als Alternative zum bisherigen Anbau vorgestellt. Neben pflanzenbaulichen Gesichtspunkten wurden auch Verwertungsaspekte sowie Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung erfasst. Abschließend wurden die Ergebnisse im Kapitel „Zusammenfassung“ verdichtet.

1.3 Abgrenzung der Thematik

Die Komplexität der Thematik erforderte eine sinnvolle Abgrenzung der Studie unter Beachtung der spezifischen regionalen Gegebenheiten. So wurden vorwiegend Publikationen herangezogen, die zeitnah veröffentlicht wurden und somit die Aktualität der Studie gewährleisteten. Ältere Quellen wurden zitiert, wenn es sich dabei um grundsätzliche Aspekte zum Thema handelte, welche durch Veränderungen nicht wesentlich beeinflusst werden.

Regional gesehen zielt die Studie ab auf Flächen rund um Freiberg mit Schwermetallbelastungen sowie auf tschechischer Seite auf Bergbaufolgelandschaften um Chomutov. Vor allem wurden mit Schwermetallen belastete Böden ausführlich betrachtet. Der Stand zu Bergbaufolgelandschaften wurde in der allgemeinen Ausgangssituation beschrieben, eine umfassende Darstellung dazu erfolgt durch das Institut für Pflanzenbau Prag, Außenstelle Chomutov - Projektpartner des Projektes RekultA, in einer separaten Studie.

Die Betrachtung der Schwermetalle bezieht sich vor allem auf Cadmium und Blei, die gemeinsam mit Arsen vielfach am häufigsten betrachtet werden und eine gewisse Leitfunktion für Grenz- und Richtwerte bilden. Weitere für die Umwelt bedeutsame Schwermetalle wie Quecksilber, Zink und Kupfer fließen ebenfalls in die Analyse ein.

Nachwachsende Rohstoffe bilden ein breites Themenspektrum ab. So werden Pflanzen dieses Gebietes nach ihrer Verwendung in eine stoffliche und energetische Nutzung gegliedert. Außerdem gibt es Einteilungen je nachdem, ob die Pflanzen halmgutartig oder holzartig sowie ein- oder mehrjährig sind. In der Studie wurden insbesondere Energiepflanzen betrachtet, die sowohl ein- als auch mehrjährig sind und vor allem in den Bereich der halmgutartigen Energiepflanzen fallen. Auf die Thematik der holzartigen Biomasse z.B. aus Kurzumtriebsplantagen wurde weniger eingegangen. Mit KUP geht eine längerfristige Flächenbindung einher verbunden mit einer nicht jährlichen Nutzungsmöglichkeit sowie nicht vollständig geklärten rechtlichen Voraussetzungen, weshalb für die Landwirtschaft Bedenken zu Wirtschaftlichkeit, Risiken und Rahmenbedingungen solcher Anlagen bestehen.

2 ANALYSE DER REGIONALEN AUSGANGSSITUATION

2.1 Schwermetallbelastete Böden und Bergbaufolgelandschaften

Für die Belastung von Standorten mit Schwermetallen kann eine Vielzahl an Ursachen benannt werden:

- Pflanzenschutzmittel und Dünger (chemische, Gülle) in der Landwirtschaft, im Gartenbau und auf Privatgrundstücken
- Schwermetalleintrag durch den Straßenverkehr
- Freisetzung von Schwermetallen durch den sauren Regen
- in Erzabbaugebiete durch Bergwerke und Verhüttung
- Direkter Schadstoffeintrag durch Abgase aus Industrie, Müllverbrennung und Privathaushalten
- Belastung des Bodens durch Schwermetalle und organische Schadstoffe durch Altstandorte (zum Beispiel ehemalige Fabriken) und Altlasten (zum Beispiel ehemalige Mülldeponien)
- Eintrag von Chemikalien durch Überflutungen bei Hochwasser
- Aufbringung von Klärschlamm
- Nadelholzmonokulturen, die zur Versauerung des Bodens beitragen
- Radioaktive Belastung (zum Beispiel nach dem Reaktorunfall bei Tschernobyl)
- Salzstreuung im Winter
- Verbotene Ablagerung von Sonderabfällen
- Geogener Ursprung aus Verwitterung anliegenden Gesteins

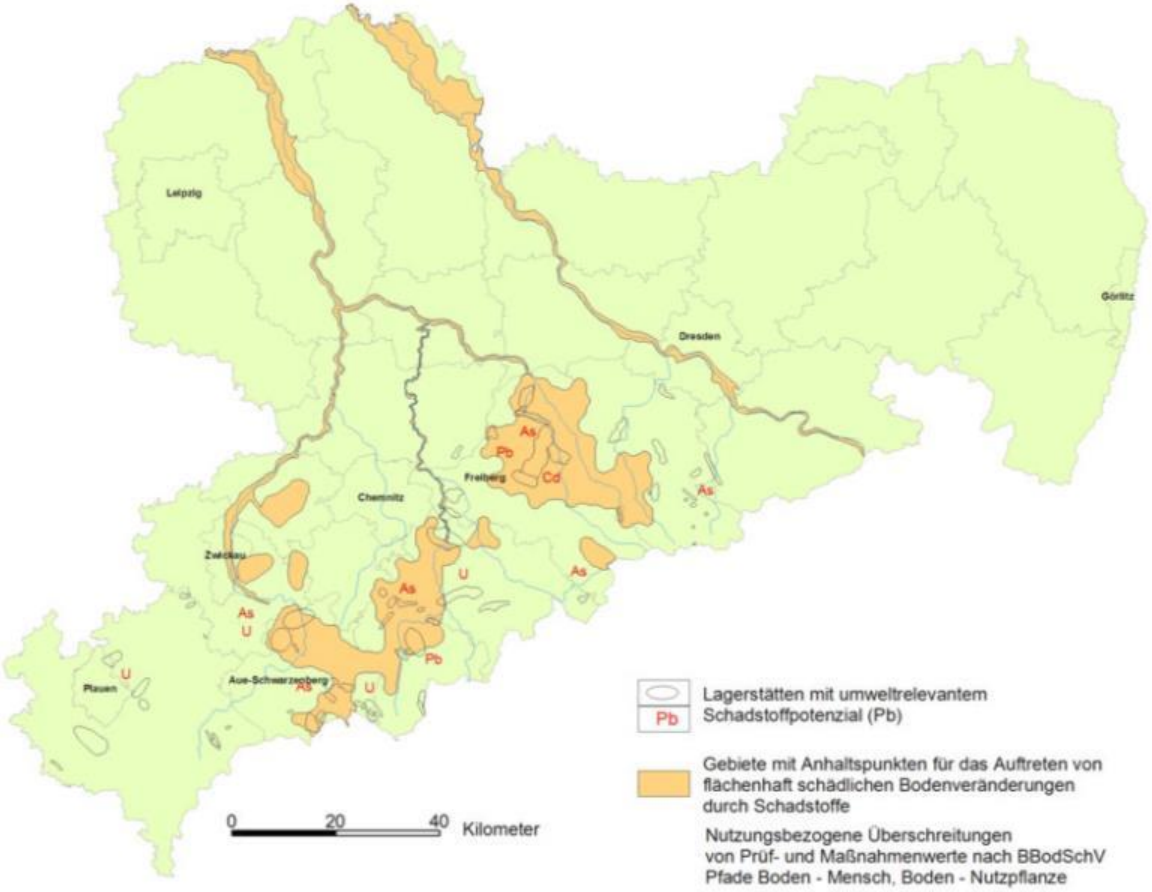
Einige Schwermetalle, wie z.B. Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, gehören zu den unentbehrlichen Pflanzennährstoffen, den Spurenelementen. Im Überfluss wirken sie toxisch. Zu den bedenklichen Schwermetallen im Boden zählen Blei, Cadmium, Zink, Kupfer, Chrom, Nickel, Quecksilber. Schwermetalle können im Boden nicht abgebaut werden und sind fast unbeweglich. Eine Anreicherung im Boden ist deshalb kaum rückgängig zu machen. Man kann sie nur durch Vorbeugemaßnahmen verhindern. Auf bereits belasteten Böden lässt sich die Schwermetallaufnahme durch Anheben des pH-Wertes mit einer Kalkdüngung vermindern.

Etwa 5% der landwirtschaftlichen Fläche (Acker- und Grünland) in Deutschland sind potentiell belastet (Sauer 2011). Relevante Gehalte an Schwermetallen und Arsen sind vor allem in Auen-, Bergbau- und Verhüttungsgebieten sowie auf geogen belasteten Böden und punktuell auf Altlastenstandorten zu finden. Als Beispiele nennt Sauer (2011) Auenbereiche des nördlichen Harzvorlandes, Rieselfelder und Schwermetallindustriestandorte.

In folgender Abbildung sind regionale Gebiete in Sachsen ersichtlich, die von erhöhten Schwermetallbelastungen betroffenen sind und überwiegend in Auenbereichen und

Bergbaugebieten lokalisiert sind. Das umweltrelevante Schadstoffpotential ergibt sich dabei vor allem für erhöhte Gehalte der Elemente Blei, Cadmium, Uran sowie Arsen.

Abbildung 2-1 Schadstoffverdachtsflächen in Sachsen (Klose 2006)



Insgesamt werden für sächsische Landwirtschaftsflächen Überschreitungen von Maßnahmewerten für 20 % der Grünlandflächen in Bezug auf Arsen und über 4 % der Ackerflächen in Bezug auf Cadmium angegeben (Rank und Kardel 2007).

Abbildung 2-2 Überschreitung von Maßnahmewerten auf Grünland- und Ackerflächen in Sachsen (Rank und Kardel 2007)

Nutzung	Maßnahmenwert BBodSchV	Überschreitung in ha	Überschreitung in %
Grünland	As > 50 mg/kg	47.000	20
Acker	Cd > 40 µg/kg	31.000	4,1
	Cd > 100 µg/kg	13.000	1,7

Für vornehmlich belastete Bereiche in Sachsen, den sächsischen Bodenbelastungsgebieten, wurden auch Unterböden auf Schwermetallbelastungen untersucht. Betroffene Gebiete sind die Auen der Elbe, der Mulde und der Zschopau sowie durch Vererzungen, Bergbau- und Hüttentätigkeit belastete Bereiche um Freiberg, Schneeberg/Aue und Ehrenfriedersdorf (Opitz et al. 2007).

Die landwirtschaftliche Nutzung in den Belastungsgebieten gestaltet sich entsprechend der regionalen Voraussetzungen einer ökonomischen Wirtschaftsweise unter der Berücksichtigung, dass Grenzwerte für Schadstoffe in den Produkten eingehalten werden. Es werden sowohl Marktfrucht- als auch als Futtermittelanbau betrieben sowie Nachwachsende Rohstoffe erzeugt (Saxonia 2010).

In verschiedenen Projekten werden Nutzungsmöglichkeiten von mit Schmermetallen und Arsen belasteten landwirtschaftlichen Flächen untersucht. So wird im Forschungsprojekt „Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte Standorte“ am Interdisziplinären Zentrum für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen nach sinnvollen Nutzungsmöglichkeiten für lokal und regional großflächig belastete landwirtschaftliche Flächen gesucht. Dabei werden verschiedene potentielle Energiepflanzen im Freilandtopfversuch und auf dem Versuchsfeld angebaut sowie Bodenextraktionsversuche durchgeführt und Stoffströme via Elementanalysen der Böden und Pflanzen bestimmt (Sauer 2011).
Mit der Nutzung von belasteten Rieselfeldern beschäftigt sich die Technische Universität Berlin u.a. innerhalb der Arbeitsgemeinschaft Bioenergieregionen (MAZ 2011).
Das europäische und transnationale Forschungsprojekt SUMATECS „Nachhaltiges Management von mit Spurenelementen kontaminierten Böden - Entwicklung und Evaluierung eines praxisnahen Expertensystems zur Auswahl risiko- und standortgerechter Sanierungsverfahren“ beschäftigt sich mit sanften Sanierungsverfahren von belasteten Böden. Diese neuen Ansätze basieren vornehmlich auf der Anwendung von Pflanzen zur Sicherung und Reinigung kontaminierter Böden (Sumantecs 2008).
An der Universität Kassel – Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften wurden Untersuchungen zur stofflichen Verwertung von Brennraumasche aus der energetischen Biomassenutzung durchgeführt. In diesem Rahmen wurden auch Schwermetallgehalte ermittelt und auf ihre Verteilung auf Brennraum- und Flugraumasche hin untersucht (Bedenk 2011).

Die Braunkohleförderung verursacht schwere Eingriffe in die Natur und bewirkt starke Einschnitte in die Landschaft. In der Folge ergeben sich in solchen Gebieten die sogenannten Bergbaufolgelandschaften.
Neben Bergbaufolgelandschaften, die aus Braunkohletagebauen hervorgegangen sind, entstehen diese auch in Folge des Uranerzbergbaus, des Kupferschieferbergbaus sowie weiteren Formen des Erzbergbaus. Auch der Abbau von Steinkohle, Kali, Torf, Dachschiefer und im weitesten Sinne von Steinen und Erden führt zu degenerierten Landschaften (Baumbach und Sänger 2008).

In Deutschland finden sich Gebiete des Braunkohletagebaus v.a. in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, (Lausitzer, Mitteldeutsches und Helmstedter Revier) sowie Nordrhein-Westfalen (Rheinisches Revier). In diesen Bundesländern ist die Nachnutzung von derartigen Flächen mit einer entsprechenden Rekultivierung von Bedeutung, auch in der Folgenutzung als landwirtschaftliche Fläche.

Die landwirtschaftliche Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften hat das vorrangige Ziel, die Bodenfunktionen auf möglichst hohem Niveau wiederherzustellen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die nachhaltige Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Agrarflächen zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen durch eine standortgerechte und ressourcenschonende Bodennutzung (Haubold-Rosar und Schwarzenberg 2009).

Abbildung 2-3 Wiedernutzbarmachung von Bergbaufolgelandschaften (Haubold-Rosar et al. 2011)

Die Forschungsgruppe „Landwirtschaftliche Rekultivierung“ des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V. erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen und Konzepte, mit deren Hilfe Rohböden zu ertragssicheren, vielfältig nutzbaren Pflanzenstandorten entwickelt

werden können. Ziele sind die Wiederherstellung der Bodenfunktionen, die zügige Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und eine Verbesserung der Ertragsfähigkeit. Die Forschungsvorhaben konzentrieren sich auf eine standortgerechte Landnutzung und innovative Verfahren der Pflanzenproduktion. Die Auswirkungen des Klimawandels werden dabei ebenso berücksichtigt wie technologische Fortschritte im Landbau.

Ein aktuelles Forschungsprojekt beschäftigt sich mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe, insbesondere von schnell wachsenden Baumarten (Pappel, Weide, Robinie). So wurde mit dem „Energiewald Lauchhammer“ einer der bundesweit größten Flächenkomplexe aus Kurzumtriebsplantagen konzipiert. Hinzu kommen weitere Projekte zur Abschätzung des Biomassepotenzials von Energiepflanzen auf Sonderstandorten und deren rationeller Bewirtschaftung.

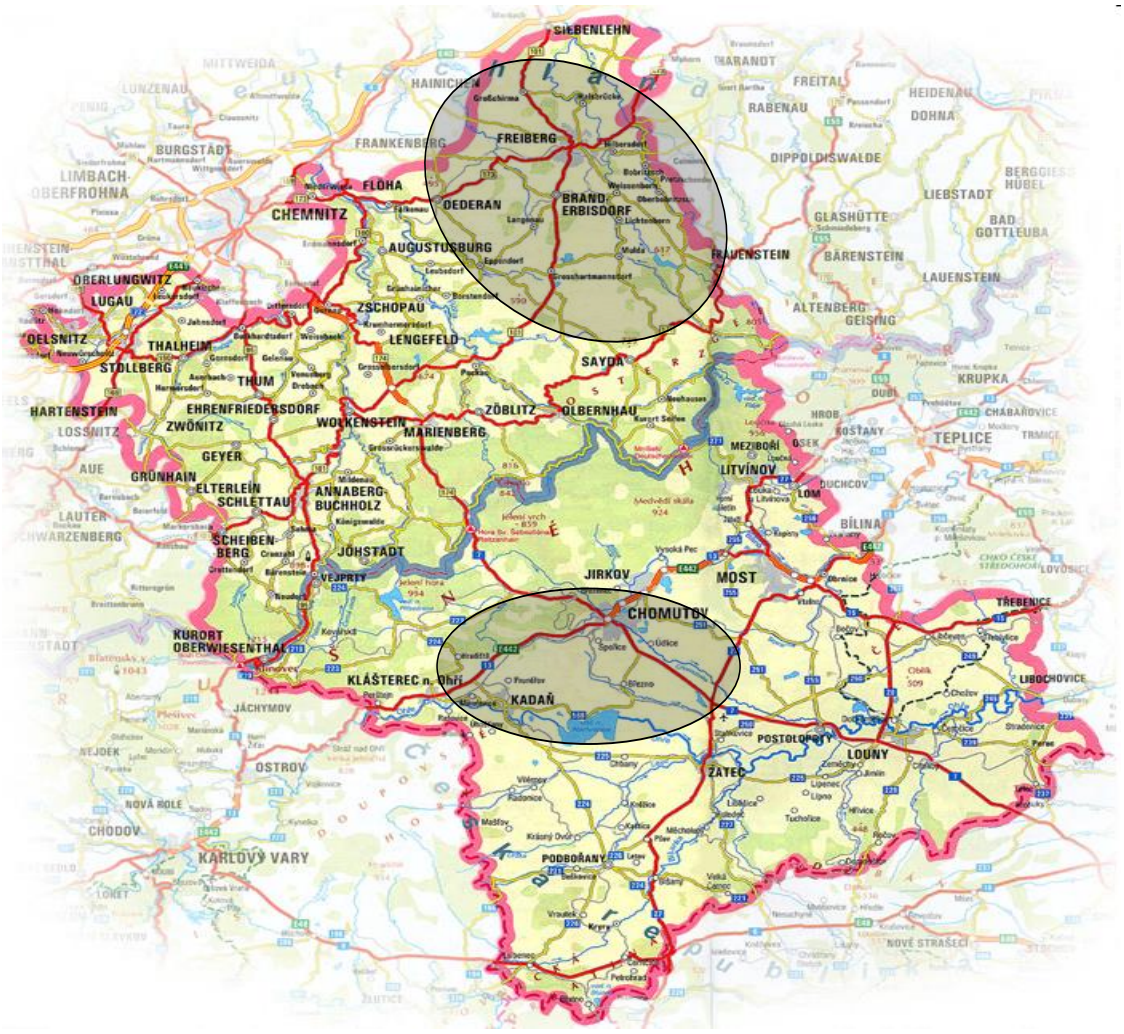
Auch der umweltverträgliche Einsatz von Bodenverbesserungsmitteln wird entwickelt und geprüft. Die Forschungsarbeiten zur Wirkung von Bodenverbesserungs- und Düngemitteln umfassen eine Vielzahl von speziellen Einsatzstoffen wie z.B. Aschen, Kalken oder Gips. Da die aufgetragenen Bodensubstrate und devastierten Böden meist durch Humusmangel gekennzeichnet sind, wird insbesondere der Einsatz organischer Stoffe wie Wirtschaftsdünger, Komposte, Gärrückstände oder spezieller Humusersatzstoffe untersucht (FIB 2009). Das LaTerra-Projekt beschäftigt sich ebenfalls mit dem Einsatz von bodenverbessernden Stoffen – im Einzelnen mit Terra Preta und Biokohle (Haubold-Rosar et al. 2011).

Der Anbau von Energiepflanzen stellt ein erhebliches Potential für die Nutzung von devastierten Flächen dar. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland auf 1,6 Mio Hektar (9,5 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche) Energiepflanzen angebaut. Bis zum Jahr 2020 kann die Anbaufläche mehr als verdoppelt werden, vor allem durch Ertragssteigerungen sowie zusätzliche Nutzung von Flächen wie Brachen (AEE 2010).

2.2 Region Freiberg

Die Freiberger Region umfasst Teile des derzeitigen Landkreises Mittelsachsen und gehört zur Euroregion Erzgebirge.

Abbildung 2-4 Euroregion Erzgebirge mit der Region Freiberg sowie der Region Chomutov (Quelle: Detailkarte, Euroregion Erzgebirge e.V.)



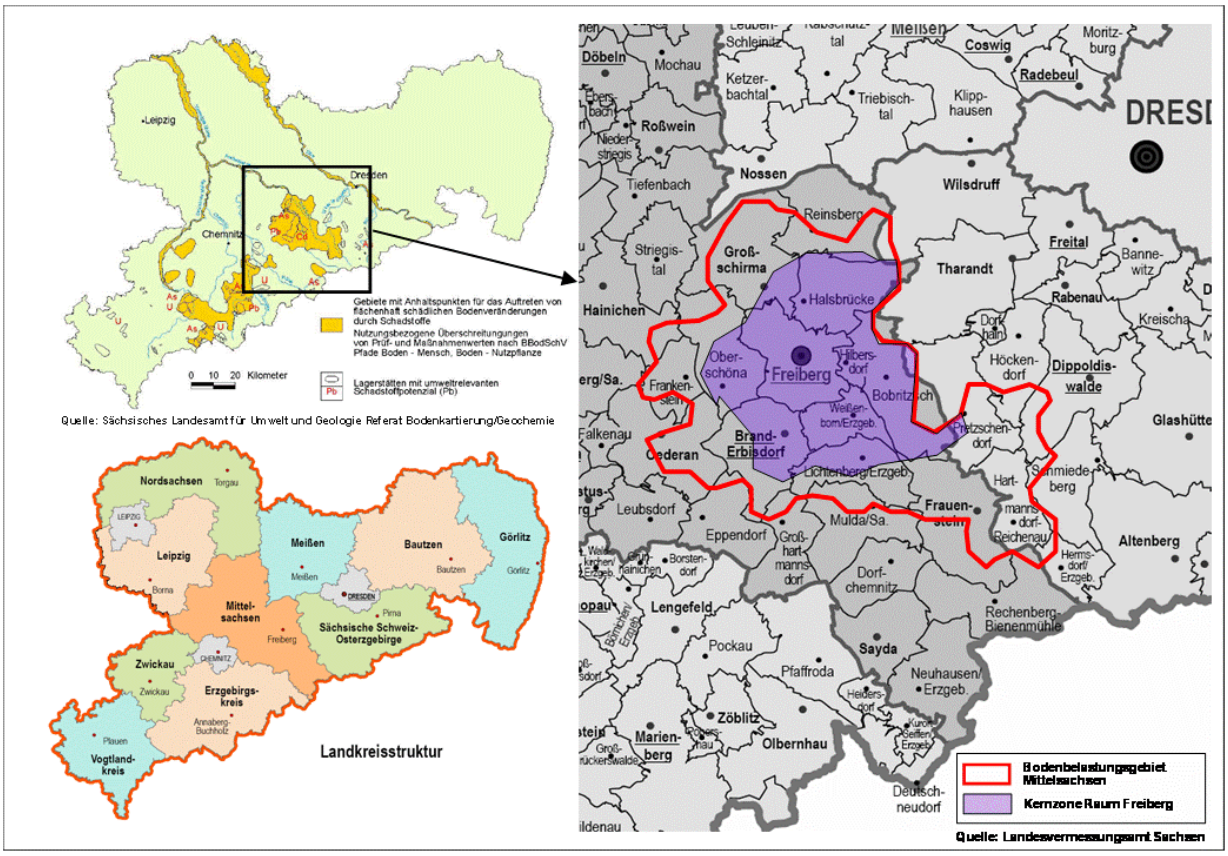
Die Landschaft der Region um Freiberg weist mit ihren ausgedehnten Wäldern, Höhenzügen, Flussläufen und Talsperren den typischen Charakter des Erzgebirges auf und wird in großen Teilen des Gebietes insbesondere durch noch erhaltene Bergbauanlagen geprägt. Rund 66 % der Fläche werden landwirtschaftlich (59.924 ha), 23 % forstwirtschaftlich (21.192 ha), 8 % als Siedlungs- und Verkehrsfläche und 3 % in sonstiger Weise genutzt (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, 2008).

Für die agrarwirtschaftliche Bodennutzung liegen in der Freiberger Region vergleichsweise gute bis sehr gute Standortbedingungen vor. Die Böden eigenen sich sowohl zur Nutzung als Acker- sowie auch als Grünland und weisen eine hohe nutzbare Feldkapazität sowie gute

Bodenwertzahlen auf. Von der Lage zwischen Hügelland und Mittelgebirgslagen ist das Klima geprägt.

In der Region um Freiberg existieren auf großflächig zusammenhängenden Arealen Schwermetallanreicherungen im Oberboden. Diese resultieren einerseits aus den natürlichen geogenen Ausgangsbedingungen und andererseits anthropogen aus dem 800-jährigen Erzbergbau mit der Aufbereitung der Erze und deren Verhüttung. Insbesondere an Standorten an denen Erzgänge an die Oberfläche gelangen, liegen im gesamten Verwitterungsbereich geogen bedingte, hohe Anreicherungen der Schadstoffe vor, die beim Betreiben von Ackerbau regelmäßig aufgebrochen und verteilt werden. Darüber hinaus haben Bergbau und Aufbereitung eine Vielzahl von Halden hinterlassen, die das Bild der Freiberger Kulturlandschaft prägen, aber auch über den Wasserpfad Schwermetalle und Arsen freisetzen. Der saure Regen und Bakterien bringen diese in Lösung (Saxonia 2010).

Abbildung 2-5 Regionaler Zuschnitt der schwermetallkontaminierten Areale in der Region Freiberg (Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Referat Bodenkartierung/Geochemie; Landesvermessungsamt Sachsen)



Der größere Anteil an Schadstoffen verteilte sich in der Vergangenheit jedoch über die Schornsteine der Hüttenbetriebe in die Umgebung. Daraus ergeben sich für die Region Freiberg, speziell die in der Hauptwindrichtung Süd-West gelegenen Gebiete bis in den Grenzbereich des Landkreises Sächsische Schweiz – Osterzgebirge, stark erhöhte Belastungen an Blei, Cadmium

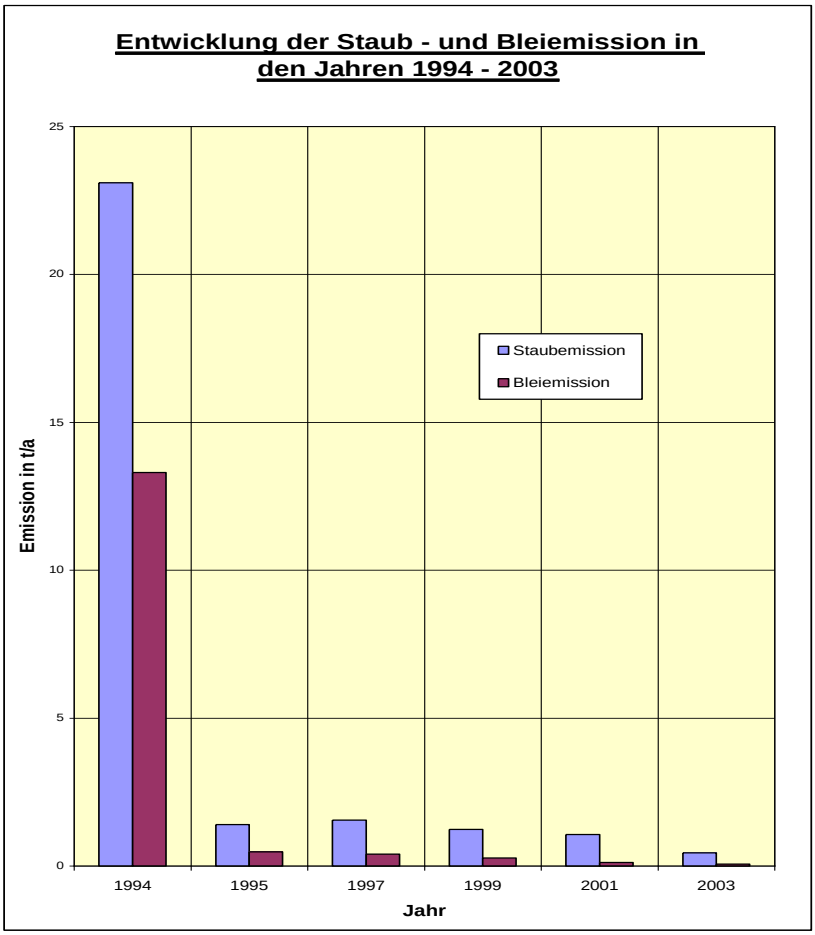
und Arsen (Grunig 2005). Im Freiberger Amtsbereich der Sächsischen Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie beträgt der Anteil an arsen- und schwermetallbelasteten Flächen zirka 10.000 ha, davon wurden vier Gebiete mit höchster Belastung (BK 4) (insgesamt 17,7 km²) mit 696 ha Landwirtschaftsfläche ausgewiesen (davon 489 ha Ackerland mit überwiegend gutem Ertragspotenzial und 207 ha Grünland). Betroffen sind ca. 25-30 Betriebe (Haupterwerbsbetriebe, Nebenerwerbsbetriebe und juristische Personen) (Kiesewalter und Röhricht 2008).

Abbildung 2-6 Zeitgenössische Darstellung der Halsbrücker Hütten (Geo- und Umweltportal Freiberg 2004)

U.a. durch die LfULG wurde Bodenmaterial auf Schwermetalle hin untersucht in regionalen Belastungsgebieten der Bergbauregionen und Auen sowie im Bericht zur Auswertung analytischer Daten zu Unterböden und Bodenaushub veröffentlicht (OPITZ et. al. 2007). Durch die Überschreitung der in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) festgelegten Prüf- bzw. Maßnahmewerte in den Hauptbelastungszonen besteht die Gefahr, Produkte zu erzeugen bzw. Grünland zu nutzen, die nicht den Forderungen der Lebensmittel- oder Futtermittelüberwachung genügen. Eine aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen zu Schwermetallbelastungen im Boden abgeleitete agrarstrukturelle Vorplanung für den östlichen Teil des ehemaligen Landkreises Freiberg erlaubt in diesem Zusammenhang für die Belastungsklasse (BK) 3 (Cd 3 bis < 6mg/kg Boden und As 40 bis <100 mg/kg Boden) tatsächlich zukünftig nur einen begrenzten Anbau an Nahrungs- und Futtermitteln. Für die BK 4 (über den Gehalten der BK 3 liegende Werte) künftig sogar keine Nahrungs- und Futtermittelproduktion (Grunig 2005). Die Akteure stehen zunehmend vor der Herausforderung, Konzepte für eine Nachnutzung zu entwickeln. Der Anbau von Biomasse für die energetische Nutzung und damit zusammenhängender Flächensanierung stellt eine Chance für die landwirtschaftlichen Betriebe dar. Die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen ist abhängig vom Vorhandensein großer Flächen, die in ihrer Nutzung keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellen. Hier bieten die großflächig kontaminierten Areale gute Voraussetzungen.

Seit Anfang der 90er Jahre erfolgen in erheblichem Umfang Sicherungsmaßnahmen der Altlasten, um die Belastungen zu vermindern. 1993 startete das Altlastenprojekt der SAXONIA mit dem Ziel, die Windverfrachtung fast vollständig zu unterbinden und den Austrag einer Schwertmetallfracht über den Wasserpfad insgesamt um deutlich mehr als die Hälfte zu reduzieren. Dies geschieht in der Regel durch eine Abdeckung bzw. Abdichtung der Oberfläche der jeweiligen Halden oder Standorte, sofern dies bautechnisch möglich ist. Dabei muss auf den Einklang mit den übrigen Trägern öffentlicher Belange, hier vor allem auf die Interessen des Denkmalsschutzes und des Naturschutzes geachtet und die Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Ergebnis beachtet werden. Enorme Anstrengungen hat auch die Hüttenindustrie unternommen, um die Emissionen drastisch zu senken. Veraltete Anlagen wurden stillgelegt und in besonders effektive Abgasreinigungssysteme investiert. Als Beispiele sollen die MRU Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik und die B.U.S Zinkrecycling Freiberg GmbH & Co. KG benannt werden. Durch Investitionen in Höhe von ca. 20 Mio. € konnten die Staub- und Bleiemission innerhalb von 10 Jahren drastisch gesenkt werden (Grunig 2005).

Abbildung 2-7 Entwicklung der Staub- und Bleiemissionen der MRU Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH (Grunig 2005)



2.2.1 Bodenbelastungen im Raum Freiberg

In Folge der über 800 jährigen Beeinflussung der Freiberger Region durch den Bergbau und das Hüttenwesen reicherten sich Schwermetalle im Oberboden auf großflächig zusammenhängenden Arealen an. Von besonderer Bedeutung sind v. a. die Schadstoffe Arsen, Cadmium, Blei, Kupfer und Zink (Landesdirektion Chemnitz), die sowohl geogen als auch anthropogen bedingt im Boden vorliegen. Insbesondere an Standorten an denen Erzgänge an die Oberfläche gelangen, liegen im gesamten Verwitterungsbereich geogen bedingte hohe Anreicherungen der Schadstoffe vor, die beim Betreiben von Ackerbau regelmäßig aufgebrochen und verteilt werden. Der anthropogene Anteil resultiert zum einen aus der Freisetzung aus Halden über den Wasserpfad und zum anderen, größeren Anteil aus der Verhüttung und der Verteilung der Schadstoffe über die Schornsteine der Hüttenbetriebe.

Aus der Überlagerung geogener und montan-anthropogener Schadstoffquellen resultiert eine komplexe Belastung der Umgebung (SAXONIA 2010). Die Nutzung als landwirtschaftliche Produktionsfläche zum Anbau von Lebens- und Futtermitteln ist auf schwermetallbelasteten Flächen von besonderer Problematik. Aufgrund mehrerer Gesetzgebungen entstehen den Landwirten rechtliche und damit auch wirtschaftliche Risiken. U.a. vor diesem Hintergrund wurde durch die Landesdirektion Chemnitz das Bodenplanungsgebiet „Raum Freiberg“ festgelegt. Bodenplanungsgebiete sind großflächige schadstoffangereicherte Areale, für die in Deutschland nach § 21 Abs. 3 BBodSchG besondere Regelungen erlassen werden können. Diese gesetzliche Möglichkeit ist auch im Sächsischen Bodenschutz- und Abfallgesetz verankert (§ 8 SÄCHSABG). Dadurch können nutzungsorientierte Maßnahmen vorgenommen werden.

Das „Bodenplanungsgebiet Raum Freiberg“ wurde, nach mehrjähriger Planungs- und Diskussionsphase, am 10. Mai 2011 als Rechtsverordnung veröffentlicht. Der Grund der Verordnung liegt vor allem in der Bewahrung von Schutzgütern, insbesondere des Menschen, vor einer von schädlichen Bodenveränderungen ausgehenden Gefährdung, um erforderliche Maßnahmen zur Unterbrechung der relevanten Wirkungspfade und Vorsorgemaßnahmen festzulegen. Zweck ist also der Schutz oder die Sanierung des Bodens, die Vorsorge für die menschliche Gesundheit oder die Vorsorge gegen erhebliche Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes (Schürer 2011).

Die Regelungen betreffen Kinderspielplätze, Wohngebiete, Industrie- und Gewerbegrundstücke, landwirtschaftlich genutzte Böden und den Umgang der Verlagerung von Bodenmaterial im Rahmen von Baugenehmigungen. Dabei sollen Einzelfallentscheidungen im Vollzug des Bodenschutzrechtes ersetzt beziehungsweise vereinfacht werden und Verpflichtete von begründeten Untersuchungspflichten ganz oder teilweise befreit werden.

Durch zahlreiche Oberbodenanalysen aus dem Bodenmessenetz des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wurden die jeweilige Höhe der Schwermetallbelastung bei Grün- oder Ackerland bezüglich des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze ermittelt.

Das „BPG Raum Freiberg“ umfasst ca. 397 km². Folgender Abbildung kann die äußere Abgrenzung des Bodenplanungsgebietes entnommen werden.

Abbildung 2-8 Räumlicher Bereich des Bodenplanungsgebietes "Raum Freiberg" (aus Anlage 1 der Verordnung zu Bodenplanungsgebiet Raum Freiberg)

Für den Landwirt besteht aufgrund der weit verbreitet hohen Gehalte an As, Pb und Cd im Boden eine besondere Verantwortung gegenüber dem Verbraucher. Er hat eigenverantwortlich sicher zu stellen, dass keine kontaminierten Lebens- und/oder Futtermittel in Verkehr gebracht bzw. verfüttert werden. Eine Möglichkeit dies abzusichern, ist die Untersuchung der Ernteprodukte. Für die Entscheidung, ob und welche Parameter im Erntegut untersucht werden sollen, soll die Verordnung in Verbindung mit der Unterteilung in Teilflächen mit Überschreitungen der Referenzwerte im Boden eine Grundlage bilden.

Die Verordnung unterstützt durch die Bereitstellung von Informationen über die Bodenbelastung im Bereich landwirtschaftlicher Flächen die Landwirte, den sich aus dem Lebensmittel- und Futtermittelrecht ergebenden Verpflichtungen nachzukommen und erspart der zuständigen unteren Bodenschutzbehörde des Landkreises Mittelsachsen eine Vielzahl von Anordnungen zur Untersuchung bzw. zur Sanierung, und ist insoweit ein Abbau von Regelungen mit dem Ziel, mehr Entscheidungs- und Wahlfreiheiten zu eröffnen. Damit wird ein eigenständiges Handeln der Grundstückseigentümer, Bauherren, Bauträger, Landwirte und privaten Gartennutzer ohne die Notwendigkeit einer behördlichen Anordnung ermöglicht.

Folgende Effekte sollen außerdem erzielt werden:

- Rechtssicherheit für die untere Bodenschutzbehörde,
- Akzeptanz des Verwaltungshandelns in der Bevölkerung,
- Sicherheit im Hinblick auf die Bodennutzung,
- Wahrung des Gleichbehandlungsgrundsatzes,
- Ermöglichung selbstbestimmten, deregulierten Handelns vor behördlichem Tätigwerden,
- Ermöglichung fachlich vertretbarer und wirtschaftlich realisierbarer Lösungen bei der Verlagerung von Bodenmaterial im Zusammenhang mit Baumaßnahmen,
- Vermeidung von Nutzungskonflikten durch Berücksichtigung bei Planungen,
- Gewährleistung von Kontrolle und Überwachung,
- Grundlage für gebietsbezogenes Bodenmanagement (Landesdirektion Chemnitz 2010)

Das Ziel ist den Kommunen, Landwirten oder Grundstückseigentümer durch z.B. digitale Bodenbelastungskarten und Excel-Tools nachvollziehbar und unbürokratisch Informationen zu vermitteln, ob sich das betreffende Landstück in einem schwermetallbelasteten Gebiet befindet bzw. keine weiteren Maßnahmen notwendig sind. Wenn eine Kontamination vorliegt, wurden konkrete Handlungsfahrpläne von Seiten der betreffenden öffentlichen Institutionen veröffentlicht, so dass der Betreffende eigenständig handeln kann.

Vorteile des Bodenplanungsgebietes:

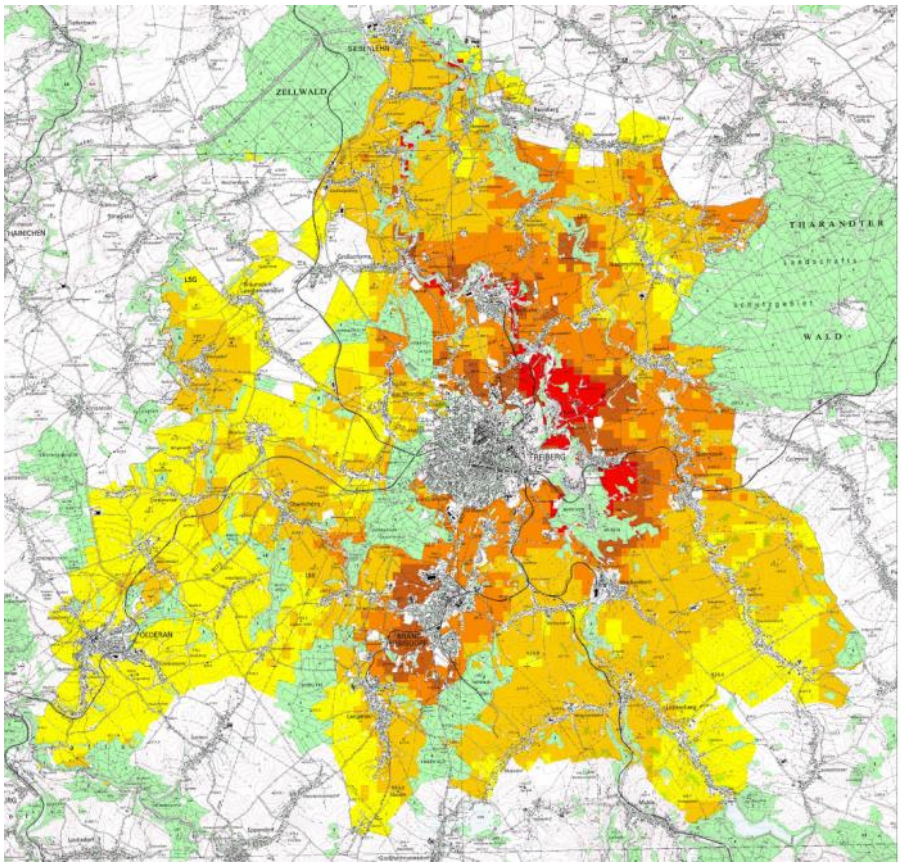
Die Einzeluntersuchungspflicht für die Grundstückseigentümer, welche mit zusätzlichen Kosten verbunden sind, entfallen. Es besteht Rechtssicherheit und eine nachvollziehbare einfache Verfahrensweise zur Umsetzungen des Bodenschutzrechtes, für Kommunen ist dies in der Baugenehmigungsphase eine Erleichterung.

Für Landwirte bedeutet dies konkrete Angaben, ob bzw. wie hoch ein Ackerschlag kontaminiert ist und welche geeignete Maßnahmen eingeleitet werden müssen, z.B. Auswahl der Sorte, Bewirtschaftungsformen, Vorernteuntersuchen einzelner Schwermetalle (z.B. As, Cd bzw. keine

erforderlichen) beim Lebensmittel- und Futtermittelanbau auf einem kontaminierten Ackerschlag/Feldblock. Die Vorernteuntersuchungen werden vor der Vermarktung der Bodenschutzbehörde vorgelegt. Daraufhin sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr festzulegen. Es gilt die Annahme, wenn die Schwermetallgehalte (Pb, Cd, As) im Oberboden nicht überschritten werden, dann werden voraussichtlich die Höchstgehalte der VO (EG) 1881/2006 und das Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch eingehalten. Der Landwirt ist verantwortlich keine kontaminierten pflanzlichen Erzeugnisse in den Verkehr zu bringen (Schürer 2010).

So sind z.B. auf Grünland (Wirkungspfad: Boden-Pflanze-Mensch) nur in bestimmten Gebieten Voruntersuchungen auf einzelne Schwermetalle notwendig. Dies wird im Kartenmaterial aufgezeigt.

Abbildung 2-9 Arsenbelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010)

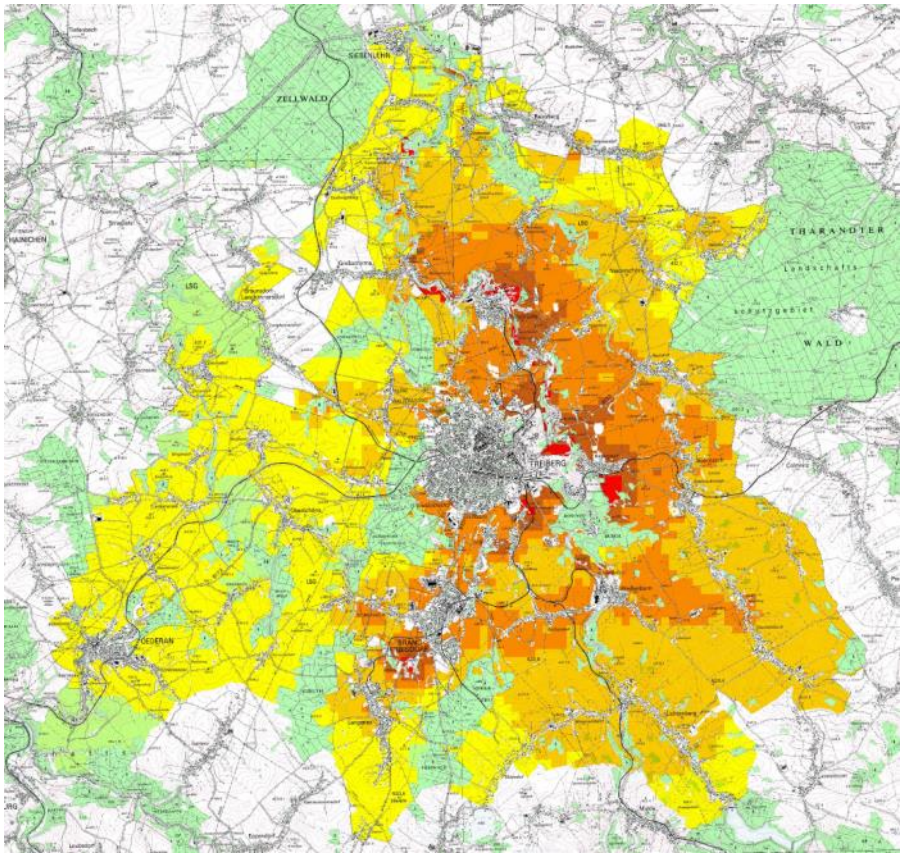


As in mg/kg	Farbe
< 5	dunkelgrün
5 – 10	mittelgrün
10 – 20	hellgrün
20 – 40	gelb
40 – 80	hellorange
80 – 160	mittelorange
160 – 320	dunkelorange
< 320	rot

Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV für den Pfad Boden – Nutzpflanze (Angaben in mg/kg TM):

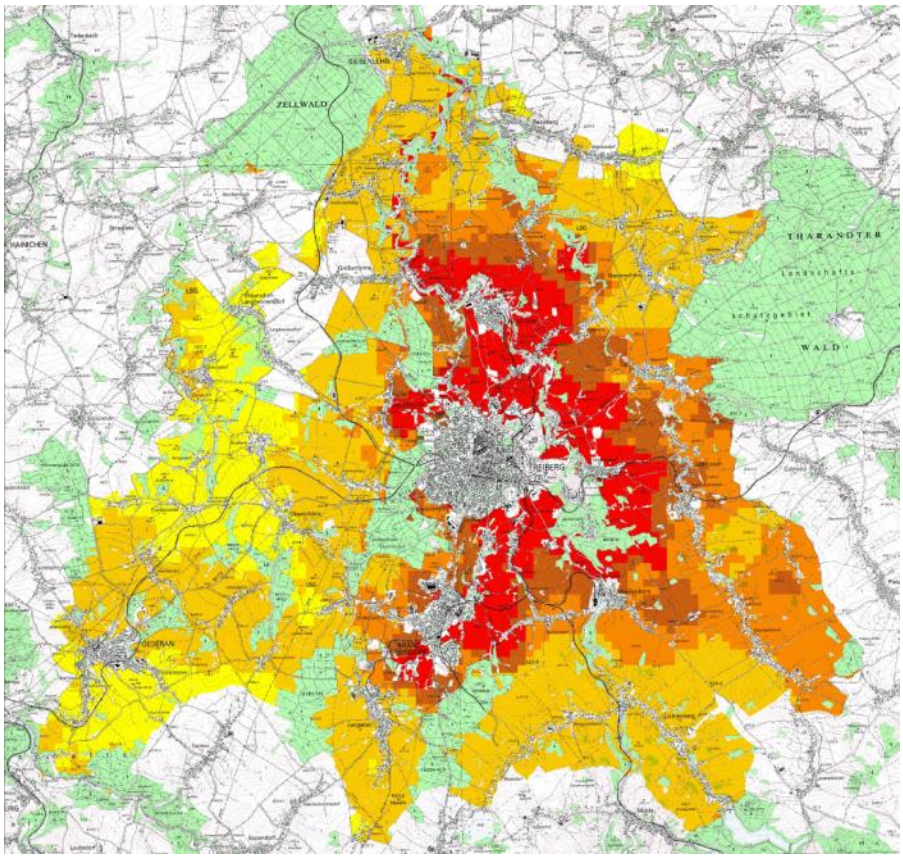
Element	Prüfwert	Maßnahmen-wert	Maßnahmen-wert	Prüfwert
	Acker	Acker	Grünland	Acker
Arsen	200 (50 red. Bed.)		50	0,4 AN
Cadmium		0,10 AN bzw. 0,04 AN	20	
Blei	0,1 AN		1200	

Abbildung 2-10 Cadmiumbelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010)



Cd in mg/kg	Farbe
< 0,2	mittelgrün
0,2 – 0,4	hellgrün
0,4 – 0,8	gelb
0,8 – 1,6	hellorange
1,6 – 3,2	mittelorange
3,2 – 6,4	dunkelorange
> 6,4	rot

Abbildung 2-11 Bleibelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010)



Pb in mg/kg	Farbe
< 22	dkl.-grün
22 – 33	mittelgrün
33 – 50	hellgrün
50 – 74	gelb
74 – 165	hellorange
165 – 245	mittelorange
245 – 365	dunkelorange
< 365	rot

Ein analoges Vorgehen zur Ausweisung eines Bodenplanungsgebietes gab es für den Landkreis Goslar. In zwei Teilgebieten gab es für den Weizenanbau die Einschränkung, dass die untere Bodenschutzbehörde dessen Eignung festgestellt haben muss und der Anbau weiterer Nutzpflanzen von der Behörde untersagt werden kann (vergleiche Landkreis Goslar, 2001).

2.2.2 *Landwirtschaftliche Produktion auf schwermetallbelasteten Flächen*

Der Anteil an arsen- und schwermetallangereicherten Flächen in der Region Freiberg beträgt nach Untersuchungen des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie ca. 10.000 ha (Kiesewalter und Röhricht 2008), davon weisen etwa 700 ha Böden mit deutlich erhöhten Schadstoffgehalten auf. Durch Schwermetallanreicherung betroffen sind ca. 25 bis 30 landwirtschaftliche Betriebe.

Unter Beachtung der vorliegenden Bodenbelastung werden in den landwirtschaftlichen Betrieben u.a. Nahrungsgetreide, Futtergetreide sowie auch Energiepflanzen angebaut. Auch Stroh, Heu, Landschaftspflegematerial und Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen können als nachwachsende Rohstoffe bzw. für die energetische Verwertung genutzt werden. Betrachtet man den gesamten sächsischen Raum, so haben 2007 insgesamt 107 Betriebe auf 10.626 ha Pflanzen für Biogasanlagen angebaut (Statistisches Landesamt Sachsen 2007). Das entspricht ca. 12,6 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Freistaates Sachsen. Zu diesen Energiepflanzen zählten dominierend Getreidepflanzen und Silomais. Die Bedeutung von Flächen mit einer Belastung durch Arsen und Schwermetalle für die Landwirtschaft ist in folgender Tabelle zusammengeführt.

Tabelle 2-1: Bedeutung von Schadelementen für Lebens- und Futtermittel in Sachsen (Klose 2006)

Element	Bedeutung für Landwirtschaft in Sachsen	Bemerkungen
Arsen	• sehr niedriger Grenzwert für Futtermittelausgangsstoffe (2 mg/kg TM) • **große Flächen (Auen, Erzgebirge) mit erheblichen Problemen bei der Futtermittelproduktion** • für Lebensmittel kein Grenzwert	• mittlere systemische Aufnahme (d.h. durch die Wurzel) • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Cadmium	• Grenzwerte für Futtermittelausgangsstoffe und Lebensmittel können erreicht werden • Probleme besonders bei Brotgetreide (Weizen, Roggen)	• leichte systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Blei	• hoher Grenzwert für Grünfutter (40 mg/kg TM) wird kaum erreicht • im Verhältnis zum Vorkommen im Boden sehr niedrige Grenzwerte für Lebensmittel	• kaum systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Quecksilber	• Grenzwert für Futtermittelausgangsstoffe (0,10 mg/kg TM) wird selten erreicht • spielt für die Landwirtschaft in Sachsen keine Rolle	• kaum systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden

Das Landesamt für Landwirtschaft hat aus ihren Untersuchungsergebnissen für Sachsen deshalb Empfehlungen für den Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten Böden herausgegeben, in denen Arsen-, Blei- bzw. Cadmiumgesamtgehalte im Boden abgeleitet worden sind, bis zu deren Höhe der Lebensmittelgrenzwert für Cadmium und der Futtermittelgrenzwert für Arsen und Cadmium in angebauten Pflanzen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden kann. Diese Richtwerte haben orientierenden Charakter (nachfolgende Tabelle) (SAXONIA 2010).

Tabelle 2-2 Empfehlungen und Orientierungswerte in landwirtschaftlichen Böden (SAXONIA 2010)

	Grünlandnutzung (Futtermittel)		**Ackerbau** (Lebens- und Futtermittel: Weizen, Gerste, Roggen)	
As	< 50 mg/kg	Höchstgehalte nach Futtermittel-VO werden mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten	< 1 mg/kg	Höchstgehalte nach Lebensmittel-VO einhaltbar
Cd	< 2 mg/kg		1 – 2 mg/kg	Anpassungsmaßnahmen durchführen, Vor-Ernte-Untersuchungen notwendig
			>2 – 7 mg/kg	Überschreiten Höchstgehalte Lebensmittel-VO, aber Einhalten Futtermittel-VO, Vor-Ernte-Untersuchungen notwendig
			>7 mg/kg	Überschreiten Höchstgehalte nach Futtermittelverordnung
Pb	< 400 mg/kg		geprüft bis 250 mg/kg	Höchstgehalte Lebensmittel-VO werden eingehalten

2.2.3 Schwermetallaufnahme von Energiepflanzen und landwirtschaftlichen Produkten

Schwermetalle können von Pflanzen auf verschiedenen Wegen, aus dem Boden, über das Wasser oder die Luft aus Stäuben über die Pflanzenoberfläche aufgenommen werden. Lange bevor es zu Wachstumsstörungen kommt, kann eine zu hohe Schwermetallaufnahme Pflanzen für Futter- oder Nahrungszwecke unbrauchbar machen. Dies gilt besonders für das Element Cadmium.

Schwermetalle können in Bezug auf Pflanzen in die zwei Kategorien Spurennährstoffe (Eisen, Mangan, Kupfer, Zink, Nickel Molybdän, Kobalt, Vanadium und Titan) und toxische Elemente (Quecksilber, Cadmium, Blei, Nickel, Halbmetall Arsen) eingeteilt werden (Saxonia 2010).

Die Einlagerung von Schwermetallen in den einzelnen Pflanzenteilen ist unterschiedlich hoch. Wurzeln speichern mehr als Sprossorgane, Stängel und Blätter mehr als Samen. Die Aufnahmerate steigt im Prinzip mit der Höhe der Schwermetallbelastung der Böden, wobei aber nicht die Gesamtkonzentration im Boden entscheidend ist für die Verfügbarkeit und damit die Aufnahme durch Pflanzenwurzeln oder durch Bodenorganismen, sondern die chemische Zusammensetzung.

Zahlreiche Untersuchungen und Anbauversuche in der Freiberger Region führten zu dem Ergebnis, dass die Grenzwerte nach BBodSchV für den Pfad Boden-Pflanze nicht zwingend in einem Zusammenhang mit einer potenziellen Überschreitung der lebens- und futtermittelrechtlichen Höchstgehalte in angebauten Pflanzen stehen müssen. Auch bei deutlich erhöhten Bodengehalten können noch unbelastete Ernteprodukte erhalten werden (Saxonia 2010). So wurde z.B. festgestellt, dass der Arsen-Futtermittelgrenzwert nur bei sieben von insgesamt 41 durchgeführten Grünschnittproben auf Arsen-angereicherten Böden überschritten wurde (Klose 2006).

Umgekehrt können aber auch erhöhte Arsen- und Schwermetallgehalte in Pflanzen gemessen werden, obwohl die Grenzwerte nach BBodSchV im Boden noch nicht überschritten sind. Die Schwermetallaufnahme von Pflanzen ist von vielen Faktoren abhängig. Dazu gehören u.a. die Bindungsform der Schwermetalle im Boden, die Pflanzenart und die Witterungsbedingungen während der Wuchsperiode. Die Grenzwerte für Boden (Pfad Boden-Pflanze) nach BBodSchG sind daher nicht zwingend repräsentativ für die Überschreitung von Grenzwerten in Nutzpflanzen nach Lebens- und Futtermittelgesetz (Saxonia 2010).

Grad und Selektion bei der Schwermetallaufnahme und -anreicherung durch die Pflanze sind abhängig von:

- der Schwermetallart und -bindungsform
- der Zusammensetzung der Bodenlösung
- der Pflanzenart
- dem Aufbau der Wurzeloberfläche (Ionenaustauschkapazität, Zellmembrane)
- der Evapotranspirationsrate der Pflanze
- der Wachstumsdauer der Pflanze: mehrjährige Kulturen sind meist stärker mit Schwermetallen belastet als einjährige Kulturen
- der Art der Pflanzenteile: generative Pflanzenteile wie Früchte und Samen sind oft weniger stark belastet als die vegetativen Teile wie Wurzel, Spross, Blätter (Wild, A. 1995).

Schönbuchner (2002) beschreibt folgende Konzentrationsreihung von neun untersuchten Schwermetallen in der oberirdischen Biomasse:

Zink >> Kupfer >> Nickel > Cadmium > Chrom > Blei > Kobalt > Arsen » Uran

In der Arbeit von Wetzig (2008) wurde beschrieben, dass zur Quantifizierung des Boden-Pflanze-Transfers von Schwermetallen der Boden-Pflanze-Transferkoeffizient entwickelt wurde. Er stellt den Quotienten aus der Schwermetallkonzentration im (oberirdischen) Gewebe der Pflanze und der Schwermetallkonzentration im Boden dar. Entsprechend ist der Koeffizient abhängig von Boden und Pflanze, sowie vom betrachteten Element. Der errechnete Wert ist als

Hinweis auf die Größenordnung des Schwermetalltransfers gedacht und stellt keine exakte Größe dar. Werte über 1 lassen jedoch auf Anreicherungen von Schwermetallen in Pflanzen über den Bodenwert hinaus schließen. Nachfolgend sind einige ermittelte Boden-Pflanze-Transferkoeffizienten aufgeführt.

Tabelle 2-3 Boden-Pflanze-Transferkoeffizienten verschiedener Schwermetalle

Element	Boden-Pflanze-Transferkoeffizient
Arsen	0,01 – 0,1
Cadmium	**1 - 10**
Kobalt	0,01 – 0,1
Chrom	0,01 – 0,1
Kupfer	**0,1 – 10**
Quecksilber	0,01 – 0,1
Nickel	0,1 - 1
Blei	0,01 – 0,1
Selen	**0,1 - 10**
Zinn	0,01 – 0,1
Zink	**1 - 10**

Für die Aufnahme von Schwermetallen in Energiepflanzen wurden mittlerweile zahlreiche analytische Messreihen durchgeführt. Dazu zählt eine Erhebung des Umweltbundesamtes, von welcher wichtige Ergebnisse in nachfolgender Tabelle zusammengestellt sind. So nimmt Mais vor allem Cadmium auf, während Grünlandschnitt gegenüber Mais geringere Cadmiumgehalte aufweist. Arsen wird in starkem Maße in Grünlandschnitt angereichert (Saxonia 2010).

Tabelle 2-4 Gemessene Gehalte an As, Cd und Pb in potenziellen Energiepflanzen in mg/kg Trockenmasse (Ammoniumnitrataufschluss)

Gehalte in mg/kg TM	**Weizen**	**Grünland**	**Mais**
Cd Mittelwert - Boden	0,05	0,12	0,12
Cd Mittelwert - Pflanze	0,29	0,39	1,06
Cd Konzentrationsbereich (Pflanze)	0,01 – 4,003	0,02 – 4,29	0,02 - 17
Pb Mittelwert - Boden	0,99	8,88	0,86
Pb Mittelwert - Pflanze	0,59	8,11	6,04
Pb Konzentrationsbereich (Pflanze)	0,03 – 12,98	0,02 – 194	0,05– 78,8
As Mittelwert - Boden	0,13	0,18	0,07
As Mittelwert - Pflanze	0,33	2,11	0,28
As Konzentrationsbereich (Pflanze)	0,01 – 1,46	0,03 – 12,4	0,01 – 0,65

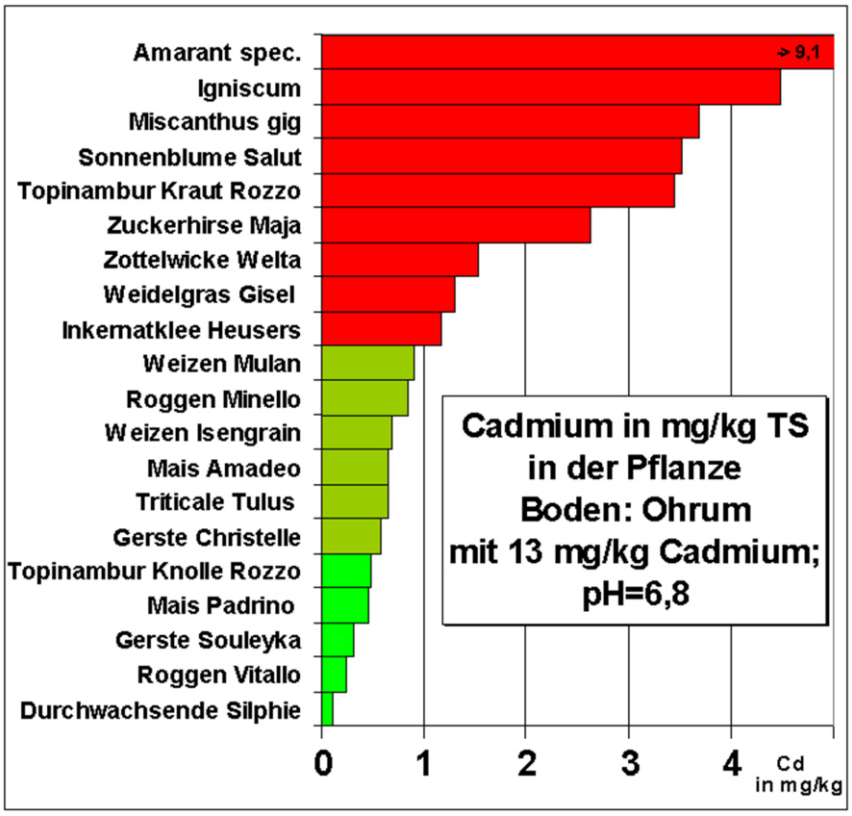
In der Machbarkeitsstudie von Grunig (2005) werden u.a. Versuche beschrieben, deren Flächen sich bei Hilbersdorf in der Nähe von Freiberg befanden. Auf diesen Flächen lagen die Gehalte von Arsen, Cadmium und Blei über den Grenzwerten nach BBodSchV für den Pfad Boden-Pflanze. In den Versuchen konnte eindeutig festgestellt werden, dass die angebauten Feldfrüchte (hier Winterroggen und Mais) die Grenzwerte für Cadmium und Blei bei Lebensmitteln

überschritten. Deutlich hervorgeht auch die geringere Belastung der Frucht gegenüber der Gesamtpflanze bzw. des Strohs bezogen auf die untersuchten Kontaminanten.

Betrachtet man die Getreidesorten, so sind vor allem Winterweizen, Winterroggen und Triticale anfällig für eine verstärkte Cd-Aufnahme. In Bezug auf Blei waren dies eher Hafer, Winterroggen und Triticale. Halmartige Pflanzen reicherten mehr Blei pro kg Trockenmasse an als Bäume. Bei Untersuchungen zum Arsentransfer Boden-Pflanze auf dem Grünland wurde festgestellt, dass es vor allem bei den Kräuter-/ Leguminosenarten gegenüber anderen Gräsern zu einer deutlich höheren Arsenaufnahme kam. Untersuchungen bei Futterpflanzen (Grünland) brachten das Ergebnis, dass vorrangig Cadmium aber auch Arsen zu einer Grenzwertüberschreitung bei Futtermitteln führen. Blei spielte hier eine untergeordnete Rolle (Saxonia 2010).

An der Georg-August-Universität Göttingen werden bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte landwirtschaftliche Standorte untersucht. In diesem Forschungsprojekt werden Pflanzen auf zehn unterschiedlich stark belasteten Böden aus Niedersachsen im Hinblick auf ihre Schadelementaufnahme in Pflanztopfversuchen getestet. Folgende Abbildung gibt einen Eindruck, wie unterschiedlich sich die Cadmiumaufnahme von verschiedenen Kulturen gestalten kann (Sauer und Ruppert 2011).

Abbildung 2-12 Cadmiumgehalte in verschiedenen Kulturen (Sauer und Ruppert 2011).



Auch die Schadstoffaufnahme durch schnellwachsende Baumarten auf Versuchsflächen des Freiberger Raums wurde untersucht (Kiesewalter und Röhricht 2008). Die Versuchsfläche befindet sich in Krummenhennersdorf in der Nähe von Freiberg. Dabei handelt es sich um eine ca. 2 ha große Versuchs- und Demonstrationsanlage mit acht verschiedenen Pappel- und Weidensorten. Nährstoffe als auch die Kontaminanten wurden überwiegend in der Blattmasse angereichert. Die Cadmium-Aufnahme war stärker als die akkumulierende Wirkung bei Arsen und Blei ausgeprägt. Die Weidensorten zeichnen sich in den ersten beiden Standjahren durch eine stärkere Schwermetallaufnahme als die Pappelsorten aus (Röhricht et al. 2011).

Bei der Notwendigkeit, Arsen und Schwermetalle in Bezug auf die Pflanzenauswahl beachten zu müssen, sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Schwerpunktschadstoff ist Cadmium. Aufgrund seiner Mobilität wird er stark von Pflanzen aufgenommen. Vor allem Winterweizen reichert verstärkt Cadmium an. Triticale und Winterroggen nehmen geringfügiger Cadmium auf als Weizen.
- Getreidestroh enthält generell höhere Schadstoffgehalte als Getreidekorn.
- Kräuter nehmen mehr Schadstoffe auf als Gras. Daher sollten kontaminierte Grünlandflächen nicht als Extensivgrünland sondern als Wirtschaftsgrünland bewirtschaftet werden (häufigere Mahd). Schwerpunktparameter sind Cadmium und Arsen, Blei spielt eine untergeordnete Rolle.
- Pappeln und vor allem Weiden nehmen mehr Cadmium auf als Ganzpflanzengetreide. Die Schwermetalle und Arsen werden dabei vorrangig in der Blattmasse eingelagert.

Neben der Schwermetallaufnahme der Pflanzen spielen auch Verschmutzungen am Getreide durch falsche Erntetechnik eine Rolle bei der Grenzwertüberschreitung (Saxonia 2010).

2.2.4 Auswirkungen von Schwermetallen auf die Nutzbarkeit von Biomasse

In Studien, die sich mit dem Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen auf mit Schwermetallen belasteten Böden beschäftigen, wird bei Grenzwertüberschreitungen im Lebensmittel- und Futtermittelbereich oft die alternative Nutzung der energetischen Verwertung vorgeschlagen. Die energetische Verwertung von Nachwachsenden Rohstoffen betrifft die Bereiche:

- Biogaserzeugung zur Energie- und Wärmegewinnung
- Biogasherstellung als Produkt/zur Einspeisung ins Gasnetz
- Verbrennung
- Bioethanolherstellung als Kraftstoff
- Gewinnung von Pflanzenöl

Insbesondere für die Nutzung in Biogasanlagen sowie in Anlagen zur Verbrennung wurden bereits mögliche Auswirkungen von Schwermetallen untersucht.

In Kiesewalter und Röhricht (2008) wurden diesbezügliche Versuche beschrieben. So konnte bei der Vergärung von belasteter Grünschnittsilage, Roggen-Ganzpflanzensilage und belastetem Roggenschrot im diskontinuierlichen bzw. kontinuierlichen Gärtest keine Beeinträchtigung der Gasbildung und Gasqualität durch die Belastung der Ausgangssubstrate mit Arsen und Schwermetallen festgestellt werden. Biogasertrag wie Methangehalt lagen im normalen Bereich. Die Bilanzierung der Stoffströme in den Biogasversuchen zeigte, dass die in den Substraten enthaltenen Mineralstoffe sowie Arsen und Schwermetalle vollständig in den Gärrückständen vorliegen.
Bei einer Mischung von Rindergülle mit belasteter Grünschnittsilage im Verhältnis von 50:50 oTS wiesen die Gärrückstände hohe Gehalte an Cadmium auf und dürften nach Düngermittelverordnung nicht in Verkehr gebracht werden. Allerdings waren alle Gärrückstände, hoch mit Kupfer befrachtet, welches aus der eingesetzten Rindergülle stammte.
Bei der Ausbringung der Gärrückstände im eigenen Betrieb bzw. auf den belasteten Flächen dürften aber auch belastete Rückstände als Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Nährstoffe sowie Arsen und Schwermetalle würden dann im Kreislauf bleiben. Die Nutzung der kontaminierten Flächen zur Biogasproduktion wäre daher denkbar.
Grundsätzlich bietet die Verwertung belasteter Aufwüchse zur Biogasproduktion eine Möglichkeit; kontaminierte Flächen außerhalb der Lebens- und Futtermittelproduktion sinnvoll zu nutzen. Hierbei sind die gesetzlichen Vorgaben für die Verwertung der Gärrückstände jedoch unbedingt zu berücksichtigen.

Bei Wetzig (2008) wurde beschrieben, dass der Einfluss von Schwermetallen auf den Prozess der Biogaserzeugung sowohl fördernd als auch hemmend sein kann, je nach Element, Teilschritt und Konzentration. Als wichtige Spurenelemente für die Methanogenese fungieren Nickel, Kobalt, Molybdän und Eisen. Bei hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen (>100 mg/l Sulfid) werden diese Elemente als schwerlösliche Sulfide ausgefällt. Schwermetalle in toxischen Konzentrationen gefährden den Stoffwechsel der beteiligten Organismen.

In Bezug auf die Verbrennung von Biomasse gestaltet sich die Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse zur Wärmeerzeugung in Kleinanlagen im Allgemeinen immer noch schwierig auf Grund der strengen Anforderungen der Bundesemissionsschutzverordnung und dem derzeitigen Stand der Technik auf dem Gebiet der Kesseltechnologien und Rauchgasreinigungssysteme (Kiesewalter und Röhricht, 2008).
Hier sind vor allem die beim Abbrand von Halmgütern entstehenden spezifisch hohen Staubemissionen sowie die erhöhte Verschlackungsneigung der Aschen problematisch. In den Jahren 2005 bis 2007 wurden insgesamt 20 verschiedene Pelletvarianten aus verschiedenen

landwirtschaftlichen Biomassen (Weizen-, Roggenstroh, Heu, Miscanthus, Rapspresskuchen), z. T. als Mischvarianten bzw. mit Zuschlägen von Talkum, Kohlensaurem Kalk und Holzspänen hergestellt. Auf Grund aktueller Diskussionen sowie einer bevorstehenden Aufnahme als zugelassener Brennstoff in die 1.BImSchV wurde auch Roggenkorn in die Untersuchungen mit aufgenommen.
Hinsichtlich der bei der Verbrennung stattfindenden Stoffströme wurde festgestellt, dass Arsen zum größten Teil in den Verbrennungsaschen vorliegt, während die Elemente Cadmium und Blei überwiegend mit dem Rauchgasstrom transportiert werden. Dies bedeutet, dass im Hinblick einer Vermeidung des Austrags dieser Schwermetalle eine geeignete Filtertechnik bei der Verbrennung belasteter Chargen eingesetzt werden muss.
Die bei der Verbrennung entstehenden Aschen enthalten hohe Anteile wichtiger Pflanzennährstoffe wie Kalium, Phosphor, Magnesium und Kalzium, aber auch Arsen und Schwermetalle. Laut DüMV dürften die meisten der in den Versuchen erfassten Verbrennungsaschen auf Grund hoher Gehalte an Kupfer, Nickel, teilweise auch Arsen und Chrom (VI) nicht als Düngemittel in Verkehr gebracht bzw. eingesetzt werden.

So wird auch bei Wetzig (2008) erwähnt, dass Schwermetalle in den Verbrennungsrückständen ein Problem in Bezug auf ihre weitere Verwendung in der Landwirtschaft darstellen. Um eine nachhaltige Biomasseproduktion zu gewährleisten, müssen die Verbrennungsaschen jedoch auf die Felder ausgebracht werden, um den Nährstoffkreislauf zu schließen (also dem Boden die Mineralstoffe wieder zuzuführen, die ihm zuvor durch den Energiepflanzenanbau entzogen wurden). Technische Ansätze zur Entfernung von Schwermetallen zielen zumeist auf die Trennung der einzelnen Aschefraktionen ab.

Ebenso kann, vor allem mit dem Hintergrund der Schwermetallproblematik, in Zukunft auf den Einsatz geeigneter Gasabscheidetechnik nicht mehr verzichtet werden um alle Brennstoffe verwenden zu können. Auf dem Gebiet der Abscheidetechnik (elektrostatische bzw. filternde Abscheider) besteht noch erheblicher Forschungsbedarf (Röhricht et.al. 2011).

In der Studie der Saxonia Standort- und Entwicklungsgesellschaft mbH (Saxonia 2010) konnte im Ergebnis der Recherchen festgestellt werden, dass eine Beeinflussung der Schwermetalle bei der Biomasseverwertung in den bekannten Technologien fast überall zu befürchten ist. Konkrete Erfahrungen aus der Praxis liegen jedoch nur wenige vor. Die Erkenntnisse beruhen vorwiegend aus Forschungsarbeiten und Studien. Es wurde des Weiteren festgestellt, dass sich Arsen und Schwermetalle der eingesetzten Biomasse verstärkt in den Rückständen der jeweiligen Verfahren anreichern und hier zu abfallrechtlichen Problemen führen können.

Um eine Anreicherungen von Schwermetallen über verschiedene Nutzungswege zu verhindern, könnte beim Energiepflanzenanbau auch verstärkt auf solche Kulturen gesetzt werden, die von vornherein Schwermetalle in einem geringeren Maß aufnehmen.

2.2.5 Derzeitige Verwertung der auf schwermetallbelasteten Flächen angebauten, landwirtschaftlichen Rohstoffe

In der Region Freiberg dominieren Futterbau- und Marktfruchtbetriebe. Im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands und Sachsens ohne die Beachtung von im Boden vorhandenen Schadstoffgehalten herrschen zunächst einmal gute bis sehr gute landwirtschaftliche Standortbedingungen und damit auch eine gute landwirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit. Es handelt sich in diesem Sinne nicht um Grenzertragsstandorte (Saxonia 2010).

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche, die 66% der gesamten Fläche umfasst, zergliedert sich in 40.358 ha Ackerland, 14.852 ha Dauergrünland (ca. 27%) und 56 ha Dauerkulturen (Statistisches Landesamt Sachsen 2007). Betrachtet man die Betriebsgrößen, so dominieren im Altlandkreis Freiberg eindeutig kleinere Betriebe mit Flächengrößen von 2 bis 50 ha. Dabei handelt es sich oft auch um Betriebe im Nebenerwerb. Der Anteil an arsen- und schwermetallangereicherten Flächen in der Region Freiberg beträgt ca. 10.000 ha, davon weisen etwa 700 ha Böden mit deutlich erhöhten Schadstoffgehalten auf. Durch Schwermetallanreicherung betroffen sind ca. 25 bis 30 landwirtschaftliche Betriebe. (Saxonia 2010).

Da auch bei deutlich erhöhten Bodengehalten noch unbelastete Ernteprodukte erhalten werden können, können auch auf mit Schwermetallen und Arsen belasteten Böden noch Kulturen für den Lebensmittel- und Futtermittelbereich angebaut werden. Die Landwirte müssen dabei dafür Sorge tragen, dass Grenzwerte nicht überschritten werden.

Die am häufigsten angebauten Feldfrüchte, beginnend mit der größten Anbaufläche, sind Winterraps, Futterpflanzen, Weizen, Wintergerste, Sommergerste, Silomais, Triticale sowie Klee, Gras und Klee-Gras-Gemische (Saxonia 2010).

Aufgrund der positiven Standortbedingungen der Freiberger Region ist auch ein Anbau vieler Arten von Energiepflanzen als potenziell erfolgreich anzusehen.

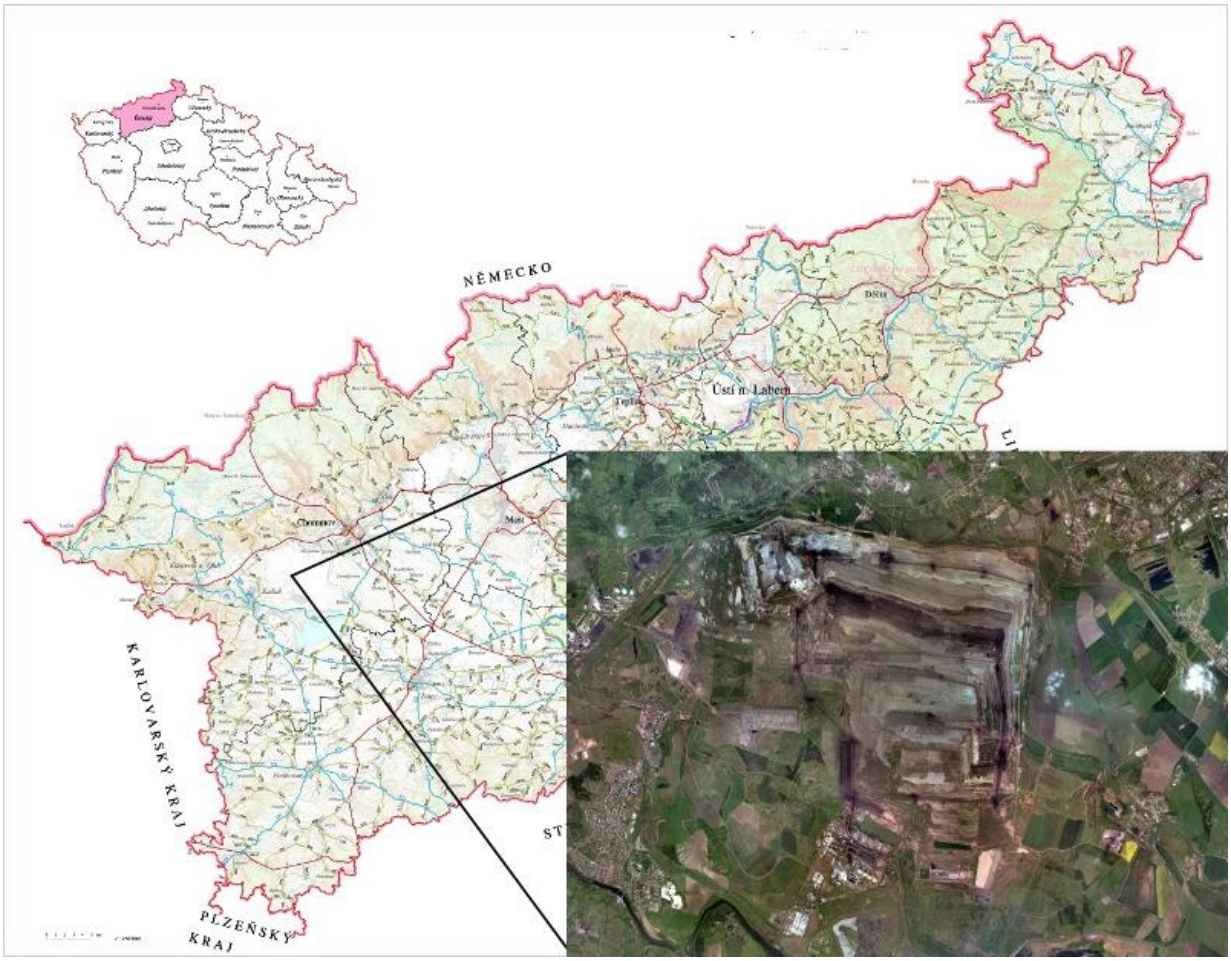
Beim Anbau und dem Inverkehrbringen von halmgutartigen Energiepflanzen zur Energiegewinnung spielen die Arsen- und Schwermetallgehalte im Gegensatz zur Lebens- und Futtermittelherstellung keine Rolle, da es für die Erzeugung keine gesetzlichen Grenzwerte gibt. Von Bedeutung beim Anbau von Energiepflanzen sind dagegen folgende Problemstellungen:

- Beeinflussung der technologischen Prozesse während der Biomasseverwertung durch erhöhte Arsen- und Schwermetallkonzentrationen in den Energiepflanzen
- Anreicherung von Arsen und Schwermetallen in den Begleitprodukten und Reststoffen nach der Biomasseverwertung und der Umgang mit solchen Stoffen
- Einhaltung von verschiedenen Verordnungen, wie Düngemittelverordnung,

2.3 Region Chomutov

In der Region Nordböhmen, in der die tschechische Stadt Chomutov liegt, hat der Abbau von Braunkohle eine lange Tradition. Etwa ab 1945 erfolgte der Abbau in landschaftsprägenden Tagebauen. Dabei war über 60 % der durch den Bergbau genutzten Fläche ursprünglich landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Fläche, die der Tagebau in Nordböhmen einnimmt, umfasste bereits Ende der 60ziger Jahre des 20. Jahrhunderts ca. 400 km^2. Das ursprüngliche Landschaftsrelief wurde stark verändert und im Ökosystem entstanden massive Schäden. Weite Teile des nordböhmischen Beckens wurden devastiert. Seit den 60ziger Jahren des letzten Jahrhunderts und verstärkt nach 1990 werden Anstrengungen zur Rekultivierung der Bergbaufolgelandschaften unternommen. Durch die Anlage der Tagebaue und den damit verbundenen Abtrag der Abraummassen wurde die natürliche geologische Schichtenfolge des Bodens zerstört. In Verbindung mit dem gestörten Wasserhaushalt ist der rekultivierte Boden zunächst nährstoffarm und wenig fruchtbar. Der Anbau von Biomasse für die energetische Nutzung und damit zusammenhängender Flächensanierung stellt, wie für die Region um Freiberg, auch für die Region um Chomutov eine Chance für die landwirtschaftlichen Betriebe dar. Die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen ist abhängig vom Vorhandensein großer Flächen, die in ihrer Nutzung keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellen. Hier bieten die großflächigen Bergbaufolgelandschaften ebenso gute Voraussetzungen wie die schwermetallkontaminierten Areale in der Freiberger Region. Im ehemaligen Bezirk Chomutov werden rund 42 % der Fläche landwirtschaftlich (39.235 ha), 37% forstwirtschaftlich (34.446 ha), 1 % als Siedlungsfläche und 20 % in sonstiger Weise genutzt (Statistik des Kreises Usti nad Labem 2008).

Abbildung 2-13 Regionaler Zuschnitt der Bergbaufolgeareale in der Region Chomutov (Quelle: Institut für Pflanzenproduktion Prag, Industrie und Handelsministerium Prag)



3 ALTERNATIVE LANDWIRTSCHAFTLICHE BODENNUTZUNG UND BIOMASSEVERWERTUNG

3.1 Anbau innovativer Energiepflanzen und deren Schwermetallverhalten

Für den Anbau von Pflanzen zur energetischen Verwertung gibt es eine Vielzahl zur Auswahl stehender Energiepflanzen neben dem am häufigsten genutzten Silomais zur Biogasproduktion sowie Raps zur Biodieselerzeugung:

- Aktuelle Energiepflanzen: durchwachsene Silphie, Rohrglanzgras, Riesenweizengras „Szarvasi1“, Sida, Energieampfer, Miscanthus, Igniscum,
- Aber auch Gräser incl. Getreideganzpflanzen und Futtergräser - z.B. Rohrschwingel, Futterpflanzen und -mischungen, Faserpflanzen, Ölpflanzen sowie Zucker- und Stärkepflanzen werden zur Biogasgewinnung genutzt und teilweise auch zur Verbrennung,
- Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Landschaftspflegematerial und Waldrestholz können durch Verbrennung energetisch genutzt werden,
- Wildpflanzenmischungen (z.B. Projekt „Farbe ins Feld“), Blühmischungen, Zwischenfrüchte und Untersaaten

Energiepflanzen können nach verschiedenen Punkten unterschieden werden, z.B. je nach Art ihrer Nutzung (Biogasanlagen, Verbrennung, Erzeugung von Energieträgern), nach halmgutartigen und holzartigen Pflanzen oder auch nach dem Hauptinhaltsstoff.

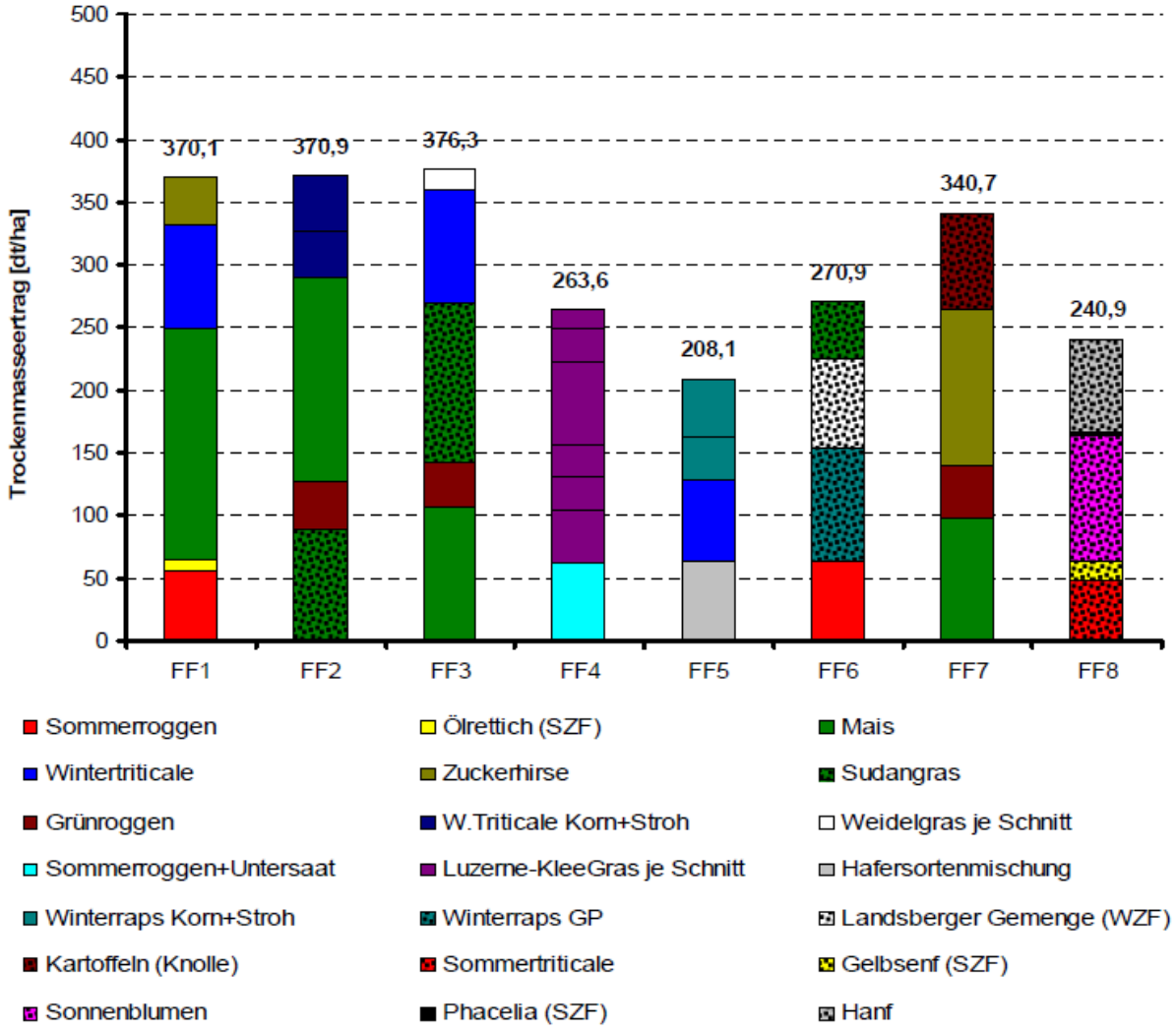
In der Publikation „Energiepflanzen für Biogasanlagen - Sachsen“ der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V aus dem Jahr 2012 wird eine Reihe von Energiepflanzen ausführlich beschrieben, die für die Biogasproduktion unter den sächsischen Standortbedingungen als geeignet eingestuft werden. In Bezug auf Schwermetalle werden keine Aussagen getroffen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die meisten der Kulturen die in der Veröffentlichung dargestellt werden.

Tabelle 3-1 Einjährige und mehrjährige Energiepflanzen (Fotos aus FNR-LfULG 2012)

Raps	Ganzpflanzengetreide	Topinambur	Sonnenblume
Mais	Kartoffel	Zucker- und Futterrüben	Sorghumhirsen
Mehrjährige Wildpflanzenmischungen	Durchwachsene Silphie	Stauden-, Riesen- bzw. Flügelknöteriche	Riesenmalve, Virginiamalve/Sida
Rutenhirse, Switchgrass	Mehrjährige Ackergras- und Leguminosen-Gras-Mischungen	Ungarisches Energiegras, Riesenweizengras/ Szarvasi-Gras	Energieampfer, Rumex Schavnat

Das deutschlandweite Verbundprojekt EVA beschäftigt sich mit standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen. Dabei werden auf verschiedenen Standorten Deutschlands eine Reihe von potentiellen Pflanzen zur Energieerzeugung untersucht, die in eine Energiepflanzen-Fruchtfolge eingebettet werden. Ziel ist die Entwicklung von Anbausystemen für Energiepflanzen. Dazu verdeutlicht folgende Abbildung die Bedeutung der Fruchtfolge von Energiepflanzen.

Abbildung 3-1 Aufsummierte Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin, Rotation 2006-2008 (Röhricht et al. 2008)



Im Projekt EVA am Standort Trossin können vor allem Energiemais, Sudangras und Zuckerhirse bezüglich ihres Biogaspotenzials (Methanausbeute) als ertragsstarke Kulturen bezeichnet werden. Sie lieferten die höchsten Erträge an Trockenmasse und Methan. Auch Ganzpflanzengetreide liefert hohe Gewinnerträge. Daher sollten sie auch wesentlicher Bestandteil von Energiefruchtfolgen sein (Saxonia 2010)

In Bezug zum Schwermetallverhalten von landwirtschaftlichen Kulturen wurden Untersuchungen an der Georg-August-Universität Göttingen für kontaminierte landwirtschaftliche Standorte durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Aufnahme von Schwermetallen je nach Pflanzenart und Sorte unterschiedlich hoch ausfällt. Beispielsweise wurde für Sonnenblumen eine deutlich höhere Cadmium-Aufnahme als für die Durchwachsene Silphie ermittelt (Sauer und Ruppert 2011).

Für Sachsen gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen, die sich mit dem Schwermetall- und Arsen-Transfer vor allem bei verschiedenen Getreidesorten und Grünland beschäftigen. Hervorzuheben sind hier die Schriftenreihen des LfULG und der BfUL (Klose 1998, 2006, 2012 sowie Serfling und Klose 2008)

Die konkrete Erprobung von Methoden zur Begrenzung des Schadstofftransfers vom Boden in die Pflanze in Sachsen wurde u. a. in dem LfULG-Projekt „Anbau von Energiepflanzen für die nachhaltige, ressourcenschonende und klimaverträgliche Rohstoffabsicherung zur Erzeugung von Strom/Wärme und synthetischen Biokraftstoffen der zweiten Generation“ vorgenommen. Das Projekt hatte folgende Ziele:

- Nutzung von Grünlandaufwüchsen von mit unterschiedlichen Kalkgaben behandelten Belastungsflächen für die Festbrennstoffgewinnung und als Biogasrohstoff,
- Anbau von Getreide in unterschiedlichen Intensitätsstufen (Düngung, Kalk, Pflanzenschutz) und Verwertung der Aufwüchse als Festbrennstoff mit Einsatz verschiedener Ernteverfahren,
- Untersuchung zum Anbau verschiedener schnellwachsender Baumarten und -sorten auf kontaminierten Flächen im Hinblick auf Schwermetallaufnahme, Ertragszuwachs und Verwertung für BtL-Kraftstoffe sowie Strom/Wärme.

Dazu gab es eine abschließende Veröffentlichung im Rahmen der Schriftenreihe des LfULG unter dem Titel „Nutzung kontaminierter Böden“ (Röhricht et al. 2011).

Auch in anderen Bundesländern werden energetische Nutzungskonzepte für schadstoffbelastete Böden erprobt. Beispielsweise beleuchtet das Projekt „ALTE FLÄCHEN – NEUE ENERGIEN“ die Möglichkeiten einer energetischen Nachnutzung brachliegender, ökologisch beeinträchtigter Flächen im ländlichen Raum Thüringens (Feldwisch 2011).

Die Grenzwerte aus dem Lebens- und Futtermittelrecht haben zwar keine Auswirkungen auf den Anbau von Energiepflanzen. Die daraus resultierenden Sortenempfehlungen können aber auch von Relevanz bei der Auswahl von Energiepflanzen sein, wenn solche gesucht werden, die weniger Schwermetalle in ihre Biomasse einlagern (Saxonia 2010).

In Bezug auf Kurzumtriebsplantagen sei an dieser Stelle auch auf die Projekte AGROWOOD und AgroForNet hingewiesen. Vor- und Nachteile von Kurzumtriebsplantagen wurden im erstgenannten Projekt zusammengestellt und sind nachfolgend dargestellt.

Tabelle 3-2 Vorteile und Nachteile von KUP (Bemmann 2009)

Kurzumtriebsplantagen	
Vorteile	**Nachteile**
Niedrige Kosten durch volle Mechanisierbarkeit	Langfristige Flächenbindung / Verpächter
Geringer Input an Dünger und Pflanzenschutzmitteln	Mehrjährige Kapitalbindung, kein sofortiger Rückfluss
Mögliche Verbindung mit ökologischem Landbau	Geringe Flexibilität bei der Anpassung an agrarpolitische Vorgaben
Gutes Absatzpotenzial für Dendromasse/Holz	Geringe Arbeitskräftebindung je Flächeneinheit
Mögliche Nutzung landwirtschaftlicher Grenzertragsstandorte	Zurzeit noch keine ausgereifte Erntetechnik
Sehr guter Erosionsschutz, Humusbildung, Bodenruhe, Verbesserung bodenphysikalischer Parameter	
Juristisch weiterhin landwirtschaftliche Nutzfläche, kein Wald	

3.2 Energetische Verwertung kontaminierter Energiepflanzen

Die wesentlichen Verwertungswege bzw. Produkte bei der Nutzung von Energiepflanzen sind:

- Biogasgewinnung zur Energie- und Wärmeerzeugung
- Verbrennung zur Wärme- und Energieerzeugung
- Biodiesel
- Rapsölgewinnung (2 Anlagen in Mittelsachsen)
- Bioethanol
- BtL
- Biomethan (zur Einspeisung/ als Kraftstoff)
- Hydrothermale Carbonisierung (z.Z. nicht gebräuchlich)

Für eine zeitnahe und praxisrelevante Umsetzung im Freiberger Raum kommen folgende Biomasseverwertungsverfahren vorrangig in Betracht:

- Biogasherstellung zur Energie- und Wärmeerzeugung

- Verbrennung zur Wärme- und Energieerzeugung

Arsen und Schwermetalle der eingesetzten Biomasse können sich verstärkt in den Rückständen der jeweiligen Verfahren anreichern und hier zu abfallrechtlichen Problemen führen. Auch eine Beeinflussung der Schwermetalle bei der Biomasseverwertung in den bekannten Technologien ist fast überall zu befürchten. Dabei sind die Pfade Inhibierung der Prozessführung sowie Anreicherung in Prozessstoffen (Gase, Staub, Reststoffe) von Bedeutung.

Derzeit ist die Tatsache noch nicht eindeutig geklärt, ob die Schwermetalle, die bei der Biogasproduktion ablaufenden Teilprozesse Methanogenese und Acetogenese stören. Dazu gibt es widersprechende Versuchsergebnisse. Biogasanlagen bieten trotz alledem für die Freiberger Region ein sehr hohes Potenzial, da die einzusetzenden Substrate in der Region vorhanden sind.

Auch bei der Verbrennung von mit Schwermetallen belasteten Energiepflanzen ist mit einem zusätzlichen Gefahrenpotenzial zu rechnen. Ein Austrag von Schwermetallen erfolgt dabei über den Luftpfad sowie durch Anreicherung in den Reststoffen. Aschen und Schlacken gelten in der Regel als Abfall, der entsprechend KrW-/AbfG zu verwerten oder zu beseitigen ist.

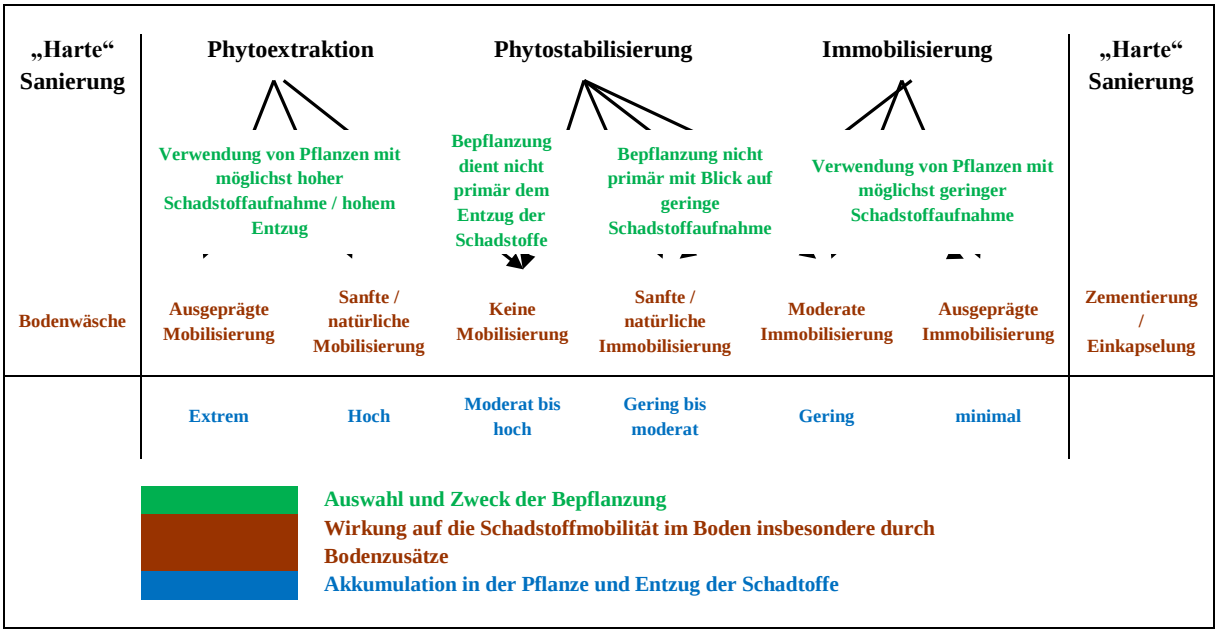
Die Methoden der Vergasung zur Herstellung von Produktgas und der Bioethanolherstellung als Motorkraftstoff eignen sich weniger, da es sich um sensible technologische Prozesse handelt, bei denen Schwermetalle meist als Störfaktoren anzusehen sind.

Das Gleiche gilt für die Herstellung von Pflanzenöl als Brenn- und Kraftstoff (vor allem aus Raps), wobei hier das nicht benötigte Rapsstroh bzw. der bei der Ölherstellung anfallende Rapskuchen durchaus als potenzieller Bioenergieträger angesehen werden kann. Zu den Auswirkungen von Schwermetallen auf den Verfahrensprozess liegen bis jetzt nur wenig Aussagen vor. Während das Pflanzenöl und seine Produkte als weitgehend schwermetallfrei gelten, stellen die Rückstände der Produktion Senken für diese Stoffe dar. Im Verlauf der Ölgewinnung können Presskuchen, Extraktionsschrot und Glyzerin als Nebenprodukte anfallen. Da die Nutzung dieser Rückstände meist in Form von Futtermitteln, Düngemitteln, in der Verbrennung oder der Biogaserzeugung erfolgt, sind bei Schwermetallanreicherungen Probleme vorprogrammiert (Saxonia 2010).

3.3 Innovative Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung

Es existieren verschiedene Maßnahmen im Umgang mit schwermetallbelasteten Böden. Auf dem Gebiet der Phytoremediation gibt es eine Reihe von Methoden, die Pflanzen zum Einsatz bringen. Zum Beispiel wären dazu die Phytostabilisierung, die Phytoextraktion sowie das Phytomining zu nennen. Im Folgenden ein Überblick (siehe Abbildung 3-2)

Abbildung 3-2 Sanierungsverfahren im Projekt Sumantecs (nach Sumantecs 2008)



Die Phytostabilisierung dient vorrangig der Sicherung des Bodens durch eine Verringerung der Mobilität der Schadstoffe. Durch die Bildung unterirdischer Biomasse findet aber nicht nur eine geringe Aufnahme (Phytostabilisierung- bzw. -immobilisierung) der Schwermetalle in Exkluderpflanzen (Wurzeln), sondern auch eine Kohlenstoffspeicherung in der Wurzelmasse statt, welche in den mehrjährigen Kulturen mindestens 10-20 Jahre unangetastet bleibt und der Atmosphäre als CO_2 entzogen wird (Mühlenhoff 2011). Neben der CO_2-Speicherung die wesentlich zum globalen Klimaschutz beträgt, wird vor allem auch das lokale und regionale Klima verbessert. Die Phytostabilisierung ist im Sinne des BBodSchG ebenso eine Bodensanierung.

Bei der Phytoextraktion werden Schadstoffe aus dem Boden verstärkt durch Pflanzen, den sogenannten Hyperakkumulatoren, aufgenommen und in deren Biomasse in hohen Konzentrationen angereichert. Die Phytoremediation wird von anderen Projekten für Mittelsachsen untersucht (z.B. Projekt „Greenland“, Puschenreiter 2013). Eine Spezialform stellt dabei das sogenannte Phytomining dar, wo mittels Pflanzen Metalle aus dem Boden gewonnen werden sollen. Die Arbeitsgruppe des Projekts „PhytoGerm“ um Prof. Dr. Hermann Heilmeier erforscht die Extraktion von Germanium aus Gärrückständen (Phytomining) mit Aussicht auf Ausgliederungen aus diesem Projekt. Germanium kommt in geringen Konzentrationen in der Erdrinde vor und teuer abzubauen, aber hat eine enorme Nachfrage- und damit Kostensteigerung (Heilmeier 2013). Es könnte zukünftig eine Verwertung der Gärrückstände entstehen, bevor diese wieder als Betriebsdünger auf der Ackerfläche ausgebracht werden. Hier ist neben dem Rohrglanzgras, welches derzeit auf seinen Germaniumgehalt untersucht wird, das Szarvasi-1 Gras interessant, da es sehr viel Silizium aufnimmt, das wie Germanium zur Kohlenstoffgruppe

(4. Hauptgruppe PES) gehört (Heilmeier 2013). Für die Phytoremediation von schwermetallbelasteten Flächen könnte auch der Einsatz von Biokohle einen Ansatz bieten. Die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und damit Verfügbarkeit von Schwermetallen durch Biokohle ist auch eine Möglichkeit für die Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften (Haubold-Rosar et al. 2011).

Die Phytostabilisierung kann gegenüber der Phytoremediation- oder extraktion, welche sich noch in der Verfahrenstechnischen Entwicklung befindet, als wesentlicher Fortschritt in der Bewirtschaftung kontaminierter Flächen betrachtet werden. Sollte es keine Pflanzenart geben, die Cadmium und Arsen in größeren Mengen aufnimmt und gleichzeitig für den alternativen Energiepflanzenanbau in dieser klimatischen Region des Erzgebirges geeignet ist, könnte die Phytoextraktion zu einem sehr langwierigen Prozess werden (z.B. 1.566 Jahre von Cadmium am Standort Ohrum; Sauer 2011)

In Kiesewalter und Röhricht (2008) heißt es, das eine große Bedeutung in Bewirtschaftungsmaßnahmen liegt, welche den Schwermetalltransfer Boden-Pflanze reduzieren bzw. Maßnahmen, die die Verschmutzung mit belasteten Bodenpartikeln und Staub minimieren. Die Verringerung der Mobilität und der Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen (z. B. Cadmium, Zink, Blei) im Boden durch die Anhebung des Boden-pH-Wertes mittels Kalkdüngung ist wohl die bekannteste Maßnahme.

Im LfULG-Projekt „Biomasseanbau und -verwertung als Energieträger / Humusstoff von Flächen mit unterschiedlichem Schwermetallbelastungsgrad und Grünlandgebieten“ wurden unter anderem Kalkungsversuche durchgeführt zur Reduzierung der Schadstoffaufnahme. Obwohl die in den Versuchen genutzten Grünlandflächen extrem mit Arsen- und Blei belastet waren, konnten Überschreitungen der Futtermittelgrenzwerte kaum festgestellt werden. Die Belastung der Flächen mit Cadmium lag unter dem Maßnahmewert der Bodenschutzverordnung. Im Grünschnitt wurden jedoch zum Teil problematische Cadmiumgehalte festgestellt. Auch auf dem Ackerland (Versuchsfrucht Winterroggen) wurden ähnliche Effekte einer stärkeren Belastung der Aufwüchse mit Cadmium aber auch Blei beobachtet. Eine Verwendung des Korns als Lebensmittel war auf Grund der strengen gesetzlichen Grenzwerte (Lebensmittelverordnung) nicht möglich.

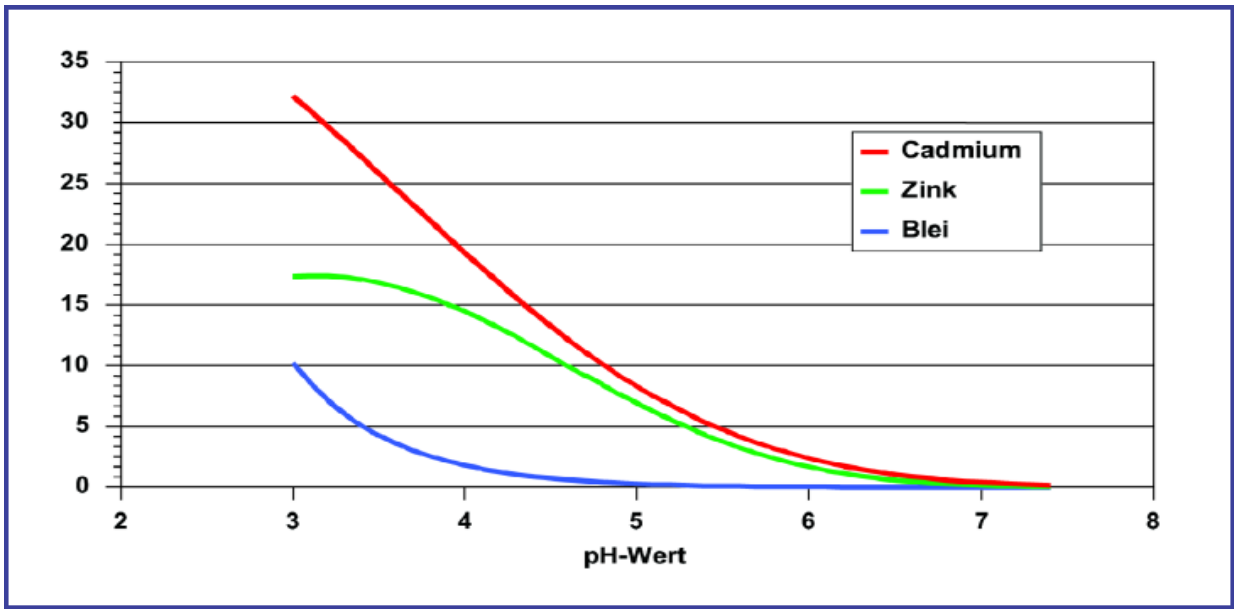
In den Hinweisen und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Böden der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurden Angaben zum Kalkbedarf in Abhängigkeit des pH-Wertes für Ackerland und Grünland gemacht, die in folgender Tabelle aufgeführt sind.

Tabelle 3-3 Ermittlung des Kalkbedarfs bei vorliegendem pH-Wert des Bodens (Klose 2006)

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

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Mobilität oder Verfügbarkeit der Stoffe, da nur der verfügbare Anteil der Schwermetalle im Boden von Pflanzen aufgenommen werden kann. Cadmium und Zink sind um ein Vielfaches mobiler als z.B. Blei. Der wichtigste Einflussfaktor auf die Verfügbarkeit ist der pH-Wert des Bodens – je niedriger der pH-Wert desto höher ist die Schwermetallverfügbarkeit, was in nachfolgender Abbildung ersichtlich ist. Auch andere Bodenfaktoren wie Ton-, Sand- oder Humusgehalt können die Mobilität von Stoffen beeinflussen (Klose 2006).

Abbildung 3-3 Anteil der mobilen "verfügbaren" Fraktion am Gesamtschwermetallgehalt (in %) (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2003)



Durch eine gezielte Phosphordüngung zu Anfang der Vegetation kann die Arsenaufnahme durch die Pflanze zurückgedrängt werden, da die Elemente Phosphor und Arsen bei der Aufnahme durch die Wurzeln konkurrieren (Kiesewalter und Röhricht 2008). Dazu berichtet Wetzig (2008), dass unter Umständen noch weitere Schwermetall-Quellen in Betracht gezogen werden müssen, die die Schwermetallgehalte in den Pflanzen zusätzlich erhöhen können. So wird etwa auf den kritischen Einfluss von Phosphatdüngern hingewiesen, da zunehmend mit Schwermetallen belastete Phosphorsalze für die Düngemittelproduktion abgebaut werden müssen. Besonders problematisch sind die teilweise erheblichen Mengen an Cadmium, Blei und Uran, die in Phosphatdüngern gefunden wurden. Weiterhin sollte bei der Verwendung von Klärschlämmen auf deren Schwermetallbelastung geachtet werden sowie auf den bei der Ernte

anhaftenden Erdenanteil an den Energiepflanzen, was die Schwermetallkonzentration erhöhen kann. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung von Knollen und Wurzeln. Weitere mögliche Schwermetallquellen sind Pestizide, Gülle, auf dem Feld verrottende Biomassereste, Maschinenabrieb und atmosphärische Deposition.

Eine wesentliche Ursache für die Schwermetallbelastung in Futter- oder Lebensmitteln kann der Staub sein. Um Anhaftungen und Verunreinigungen des Erntegutes mit Schwermetallbelastetem Material zu verringern wurde für Futtermittel eine Reihe von Maßnahmen aufgelistet, die im Anhang in der Tabelle „Verminderung der Verschmutzung des Futters mit Boden bei der Aufnahme von Grünland- und Ackerfutter“ ersichtlich sind (Wetzig 2008).

Auch bei Kiesewalter und Röhricht 2008 wird berichtet, dass ein großer Teil der arsen- und schwermetallbelasteten Lebens- und Futtermittel nicht systemisch über die Wurzeln der Pflanzen aufgenommen wurde sondern als Verschmutzung mit Bodenpartikeln oder Staub am Erntegut anhaftet. Dabei können mit geeigneten Maßnahmen wie z.B. Maschineneinstellungen (Schnitthöhe), Vermeidung von lückigen Beständen und Lager diese Verschmutzungen minimieren werden. Die Auswahl geeigneter Arten und Sorten für den Anbau auf kontaminierten Flächen ist ebenfalls eine wichtige Voraussetzung, um Belastungen im Ernteprodukt zu vermeiden. So weist z.B. Weizen ein höheres Cadmium- Aufnahmevermögen als Roggen oder Gerste auf. Auch zwischen verschiedenen Weizensorten konnten bei Untersuchungen gravierende Unterschiede bei der Cadmiumaufnahme festgestellt werden. Auch für Sommergerste ist in Gebieten mit bekannter Cadmiumbelastung des Bodens bei der Saatgutbestellung das unterschiedliche Cadmiumaufnahmevermögen der Sorten zu berücksichtigen; so kann der Cadmiumgehalt im Erntekorn spürbar verringert werden.

In Bezug auf Kurzumtriebsplantagen weisen Pappeln und Weiden ein hohes Akkumulationsvermögen an Schwermetallen auf, insbesondere an Zink und Cadmium auf. Infolge der Konzentrierung des hochtoxischen Cadmiums in der Filterasche kann dadurch selbst bei Rückführung der Rostasche als Düngemittel ein nachhaltiger Beitrag zur Dekontamination des Bodens geleistet werden (Scholz et al. 2004).

4 ZUSAMMENFASSUNG

Ist eine Überschreitung der Grenzwerte in Lebens- und Futtermittelpflanzen festgestellt worden, so müssen die Landwirte ihre Produkte in der Regel als Abfall deklarieren. Hohe wirtschaftliche Verluste sind die Folge. Aus diesem Grund ist eine Verwertung solcher Kulturpflanzen als Energiepflanzen bzw. der direkte geplante Anbau von Energiepflanzen eine sich lohnende Alternative für Landwirte, unter Beachtung der Gesetzgebung (Saxonia 2010).

4.1 Ergebnisbewertung und Empfehlungen für die Freiberger Region

Aufgrund der positiven Standortbedingungen der Freiberger Region ist auch ein Anbau vieler Arten von Energiepflanzen als potenziell erfolgreich anzusehen.

Dementsprechend dominieren in der Region Futterbau- und Marktfruchtbetriebe. Sie sind es, die durch Arsen- und Schwermetallanreicherungen im Oberboden Probleme bei der Bewirtschaftung haben können. Aus diesen Gründen spielen für die Landwirte der Region halmgutartige Energiepflanzen eine besondere Rolle, da sie der derzeitigen Bewirtschaftungsweise der Landwirte in starkem Maße ähneln.

Um negative Effekte der Schwermetallanreicherungen in der Biomasse zu minimieren, besteht die Möglichkeit, von den Biomassepflanzen nur Teile zu ernten und zwar solche, von denen bekannt ist, dass sie weniger Schwermetalle einlagern. Das trifft z.B. für schnellwachsende Bäume zu, die im Winter d.h. ohne Laub, geerntet werden sollten.

Andererseits können die Stoffströme „Lebens-/Futtermittel“ und „Energiepflanzen“ bewusst getrennt werden. So kann die weniger schadstoffanreichernde Frucht (Getreidekörner) als Lebens- oder Futtermittel verkauft werden, währenddessen das höher belastete Getreidestroh als Energiepflanze Verwendung findet. Voraussetzung ist, dass die Schadstoffanreicherungen nicht zu Problemen bei der Biomasseverwertung und der Reststoffverwertung führten.

4.2 Geeignete Pflanzen für die Freiberger Region

Betrachtet man die Standortbedingungen im Freiberger Raum, so sind derzeit folgende Energiepflanzen zu favorisieren:

- Getreideganzpflanzen und Getreidestroh (v.a. Weizen, Roggen, Triticale, Raps, Mais), evtl. auch Sudangras und Zuckerhirse
- ein- und mehrjährige Gräser, wie Rohrglanzgras, Ungarisches Riesenweizengras,
- weitere mehrjährige Energiepflanzen, wie Durchwachsene Silphie,
- Grünschnitt von Wirtschaftsgrünland,
- bei Entscheidung für holzartige Energiepflanzen: Pappeln, Weiden.

Künftig sollte weiter an diesen Kulturen geforscht werden, um deren ökonomische sowie ökologische Auswirkungen abschätzen zu können. Generell besteht hier noch ein verstärkter Untersuchungsbedarf.

Freiberg gehört zu den Landkreisen, die einen hohen Grünlandanteil aufweisen. Da Futterproduktion und Beweidung nachlassen, existiert hier ein Potenzial, welches genutzt werden sollte. Grünlandaufwuchs stellt ein sehr gutes Koferment für Biogasanlagen dar. Ein weiteres Potenzial ist bei der Verwertung von Getreide- und Rapsstroh zu finden.

Kriterien zur Entscheidung für den Energiepflanzenanbau sollten dabei sein:

- die Sorte der Pflanze unter Beachtung der vor Ort vorhandenen Schwermetallart und -konzentration,
- die Wachstumsdauer der Pflanze: mehrjährige Kulturen (Bäume, Sträucher, mehrjährige Gräser) sind meist stärker mit Schwermetallen belastet als einjährige Kulturen (Getreide, Stärkepflanzen, Ölpflanzen),
- das gewollte Ergebnis: Phytoextraktion oder Phytoimmobilisierung: Soll eine Sanierung durch Phytoremediation erfolgen oder wird eher eine geringfügige Aufnahme von Schwermetallen in die Pflanze angestrebt. Aufgrund des unterschiedlichen Schwermetallanreicherungsvermögens der jeweiligen Pflanzenarten können Excluder oder Akkumulatoren ausgewählt werden,
- Ganz- oder Teilpflanzennutzung: Da generative Pflanzenteile (Früchte, Samen) oft weniger stark belastet sind als vegetative Teile (Wurzel, Spross, Blätter), können Energiepflanzen ausgewählt werden, die ein hohes Energiepotenzial in eben diesen Pflanzenteilen haben,
- die Art des Biomasseverwertungsverfahren: ist ein entscheidender Einfluss der Schwermetalle auf den Prozessablauf zu erwarten oder nicht.

4.3 Fortsetzung der Arbeiten

Im Rahmen des Projektes RekultA wurde die vorliegende Literaturanalyse erstellt. Ein weiteres Ziel des Projektes war es, Anbauversuche mit innovativen Energiepflanzen durchzuführen. Dabei wurden die mehrjährigen Energiepflanzen Durchwachsen Silphie, Rohrglanzgras, Miscanthus sowie das Riesenweizengras „Szarvasi 1“ untersucht. Um die Ergebnisse weiter zu festigen, sollten diese Kulturen hinsichtlich ihres regionalen Ertragspotentials sowie ihres Verhaltens zur Schwermetallaufnahme weiterhin in anknüpfenden Forschungsprojekten geprüft werden. Auch andere innovative, mehrjährige und einjährige Energiepflanzen bzw. Mischungen sollten auf ihre regionale Eignung erprobt werden. Dies könnten z.B. Energiepflanzenmischungen oder auch Wildpflanzenmischungen sein, die sich in verschiedenen Versuchen als interessante Alternative gezeigt haben.

Weiterhin sollte auch immer verfolgt werden, in welchem Rahmen die erzeugte Biomasse genutzt werden kann und in entsprechenden Umsetzungsprojekten Verwendung findet. Dazu sollte weiterhin begleitend eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit verfolgt werden und ein Beratungsangebot vor allem für landwirtschaftliche Unternehmen zum Energiepflanzenanbau und der Verwendung der Biomasse geschaffen werden.

Der Anbau von Biomasse auf arsen- und schwermetallangereicherten Böden als Energiepflanzen stellt für Landwirte der Freiberger Region eine Alternative zur konservativen Landwirtschaft dar. Sollte langfristig für die Abscheidung und Gewinnung der toxischen Elemente aus den Gärrückständen und Aschen kein rentables Verfahren zur Verfügung und auch kein bergbauliches Interesse dahinter stehen, so wird die Phytostabilisierung die einzige Alternative für die Region Freiberg bleiben. Die Phytostabilisierung ist im Sinne des BBodSchG eine Bodensanierung. Der Anbau von Energiepflanzen auf kontaminierten Standorten bietet ein hohes noch nutzbares Potenzial zur Erzeugung regenerativer Energien in einem regionalen Kreislauf. Durch die Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten wird nicht nur die ökologische sondern auch die wirtschaftliche Nachhaltigkeit gewährleistet. Es nutzt und stärkt das Innovationspotenzial des Wirtschaftsstandortes Freiberg (Saxonia 2010).

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1 Schadstoffverdachtsflächen in Sachsen (LfUG 2002).....5

Abbildung 2-2 Überschreitung von Maßnahmewerten auf Grünland- und Ackerflächen in Sachsen (Rank und Kardel 2007).....5

Abbildung 2-3 Wiedernutzbarmachung von Bergbaufolgelandschaften (Haubold-Rosar et al. 2011).....7

Abbildung 2-4 Euroregion Erzgebirge mit der Region Freiberg sowie der Region Chomutov (Quelle: Detailkarte, Euroregion Erzgebirge e.V.).....9

Abbildung 2-5 Regionaler Zuschnitt der schwermetallkontaminierten Areale in der Region Freiberg (Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Referat Bodenkartierung/Geochemie; Landesvermessungsamt Sachsen).....10

Abbildung 2-6 Zeitgenössische Darstellung der Halsbrücker Hütten 11

Abbildung 2-7 Entwicklung der Staub- und Bleiemissionen der MRU Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH (Grunig 2005) 12

Abbildung 2-8 Räumlicher Bereich des Bodenplanungsgebietes "Raum Freiberg" (aus Anlage 1 der Verordnung zu Bodenplanungsgebiet Raum Freiberg) 14

Abbildung 2-9 Arsenbelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010) 16

Abbildung 2-10 Cadmiumbelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010) 17

Abbildung 2-11 Bleibelastung im Raum Freiberg (SAXONIA 2010) 17

Abbildung 2-12 Cadmiumgehalte in verschiedenen Kulturen (Sauer und Ruppert 2011)...22

Abbildung 2-13 Regionaler Zuschnitt der Bergbaufolgeareale in der Region Chomutov (Quelle: Institut für Pflanzenproduktion Prag, Industrie und Handelsministerium Prag) 28

Abbildung 3-1 Aufsummierte Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin, Rotation 2006-2008 (Röhricht et al. 2008) 31

Abbildung 3-2 Sanfte Sanierungsverfahren im Projekt Sumantecs (nach Sumantecs 2008).....35

Abbildung 3-3 Anteil der mobilen "verfügbaren" Fraktion am Gesamtschwermetallgehalt (in %) (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2003).....37

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Bedeutung von Schadelementen für Lebens- und Futtermittel in Sachsen (Klose 2006) 18

Tabelle 2-2 Empfehlungen und Orientierungswerte in landwirtschaftlichen Böden 19

Tabelle 2-3 Boden-Pflanze-Transferkoeffizienten verschiedener Schwermetalle 21

Tabelle 2-4 Gemessene Gehalte an As, Cd und Pb in potenziellen Energiepflanzen in mg/kg Trockenmasse (Ammoniumnitrataufschluss) 21

Tabelle 3-1 Einjährige und mehrjährige Energiepflanzen (Fotos aus FNR-LfULG 2012) 30

Tabelle 3-2 Vorteile und Nachteile von KUP (Bemmann 2009) 33

Tabelle 3-3 Ermittlung des Kalkbedarfs bei vorliegendem pH-Wert des Bodens (Klose 2006) 37

LITERATUR- UND REFERENZVERZEICHNIS

AEE (2010): Erneuerbare Energien 2020 – Potentialatlas Deutschland; Agentur für Erneuerbare Energien e.V.; 2. Auflage

Baumbach, H., Sänger, H. (2008): Fünf Jahre Arbeitsgemeinschaft Bergbaufolgelandschaften e. V. – Rückblick und Ausblick; Zeitschrift Glückauf 144, Nr. 11

Bedenk, K. (2011): Untersuchungen zur stofflichen Verwertung von Brennraumasche aus der energetischen Biomassenutzung, Universität Kassel – Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Masterarbeit - Fachgebiet Agrartechnik vorgelegt im Februar 2011

Bemmann, A. (2009): Praxiserfahrungen zu Kurzumtriebsplantagen im Forschungsprojekt AGROWOOD; Vortrag zum DLG Energieholzkongress; Berlin; 11. Februar 2009

BMJ (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV); Bundesministerium der Justiz

BMJ (2005): Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) vom 01. September 2005; Bundesministerium der Justiz

BMU (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten vom 17. März 1998; Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Feldwisch, N. (2011): Umweltgerechter Anbau von Energiepflanzen - Rahmenbedingungen und Strategien für einen an Umweltaspekten ausgerichteten Anbau der für Sachsen relevanten Energiepflanzen; Schriftenreihe des LfULG, Heft 43/2011

FIB (2009): Informationsbroschüre des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V. - Anwendungsorientierte Forschung für nachhaltige Lösungen

FNR-LfULG (2012) Energiepflanzen für Biogasanlagen – Sachsen; Veröffentlichung der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V und des LfULG

Frommhagen, K. et al. (2013): Nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen für eine regionale Entwicklung im Landkreis Görlitz-Ein Handlungsleitfaden, Internationales Begegnungszentrum St. Marienthal. Online im Internet. URL: http://www.loebestein.de/documente/Handlungsleitfaden_web.pdf (Stand: 04.09.2013)

Geo- und Umweltportal Freiberg (2004):. Online im Internet. URL:http://www.gupf.tu-freiberg.de (Stand: 02.08.2012).

Grunig, S. (2005): Machbarkeitsstudie - Anbau nachwachsender Rohstoffe als eine Alternative zur bisherigen landwirtschaftlichen Produktion; GTI Grunig Technologieberatung und Ingenieurbüro GmbH, 2005

Haubold-Rosar, M, Weiß, U., Rademacher, A. (2011): Terra Preta und Biokohle zur Rekultivierung von Kippenböden in Bergbaufolgelandschaften; Präsentation vom 03. November 2011

Haubold-Rosar, M., Schwarzenberg, A. (2009): Landwirtschaftliche Rekultivierung im Braunkohlentagebau Jänschwalde durch die Vattenfall Europe Mining AG; Zeitschrift Glückauf 145, Nr. 10

Heilmeier, H. (2013): Germaniumgewinnung aus Biomasse (PhytoGerm). Projekthomepage online im Internet. URL: http://tu-freiberg.de/fakult2/bio/ag_bio/phytogerm/index.html (Stand: 02.07.2013).

Kiesewalter, S.; Röhricht, C. (2008): Biomasseanbau und -verwertung als Energieträger/Humusstoff von Flächen mit unterschiedlichem Schwermetallbelastungsgrad und Grünlandgebieten; Abschlussbericht; Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft; Heft 30/2008; Dresden

Klose, R. (1998): Untersuchungen zum Arsen- Transfer und Empfehlungen für die landwirtschaftliche Nutzung eines Gebietes in Sachsen mit hoher Arsenbelastung; VDLUFA-Schriftenreihe (46), Kongressband 1997: 501-504

Klose, R. (2003) „Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerische genutzten Böden“; Freistaat Sachsen; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Klose, R. (2006): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden; Fachmaterial der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft; Dresden

Klose, R. (2012): Arsen und Cadmium in Winterweizen - Untersuchungen zur Bestimmung der Pflanzenverfügbarkeit von Arsen und Cadmium für den Anbau von Winterweizen, Schriftenreihe des LfULG, Heft 23/2012

Landesdirektion Chemnitz (2011): Begründung/Erläuterungen zum Entwurf der Verordnung der Landesdirektion Chemnitz zur Festlegung eines Bodenplanungsgebietes im „Raum Freiberg“; vom 24.06.2010

Landesdirektion Chemnitz (2011): Verordnung zum Bodenplanungsgebiet „Raum Freiberg“; vom 10.05.2011

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2003): Schadstoffe im Boden – Teil 1: Ursachsen – Wirkung – Bewertung; LUA-Infoblatt Nr.11

Landkreis Goslar (2001); Informationen zur Verordnung des „Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar“

MAZ (2011): Brennnessel und Biogas – Wissenschaftler suchen nach Wegen, die ehemaligen Rieselfelder sinnvoll zu nutzen; Matz, Artikel vom 12. Oktober 2011

Mühlenhoff, J. (2011): Anbau von Energiepflanzen - Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potentiale; Renews Spezial Ausgabe 34/Juli 2011- Hintergrundinformationen der Agentur für Erneuerbare Energien, S. 5 und 7.

Opitz, B. et al. (2007): Untersuchung Bodenmaterial - Bericht zur Auswertung analytischer Daten zu Unterböden und Bodenaushub; LfULG; Online: www.umwelt.sachsen.de/lfug

Puschenreiter, M. (2013): Projekthomepage Greenland. Online im Internet. URL: http://www.greenland-project.eu/ (Stand: 05.03.2013).

Rank, G., Kardel, K. (2007): Stoffliche Bodenbelastungen in Sachsen – Arsen und Schwermetalle; LfULG – Referat Bodenkartierung/Geochemie; Präsentation vom 05.03.2007

Röhricht, C.; Grunert, M.; Jäkel, K. (2011): Anbau von Energiepflanzen für die nachhaltige, ressourcenschonende und klimaverträgliche Rohstoffabsicherung zur Erzeugung von

Strom/Wärme und synthetischen Biokraftstoffen der zweiten Generation; Schriftenreihe der LfULG; Heft 19/2011; Dresden

Röhricht, C.; Freydank, S.; Schröder, S. (2009): Energiefruchtfolgen für D- Südstandorte; Schriftenreihe der LfULG; Heft 26/2009

Sauer, B. (2011): Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte landwirtschaftliche Standorte; Georg-August-Universität Göttingen, Vortrag am 20. September 2011 auf dem FNR/KTBL-Kongress

Sauer, B.; Ruppert, H. (2011): Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte landwirtschaftliche Standorte; Posterbeitrag, Georg-August-Universität Göttingen

Saxonia (2010): Optionen des Biomasseanbaus auf kontaminierten Flächen – eine Handlungsempfehlung zum Anbau und zur Verwertung von Biomasse im Raum Freiberg/Sachsen; Veröffentlichung im Rahmen des Central Europe-Projekts ReSource; SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH

Scholz, V., Hellebrand, H.J, Höhn, A. (2004): Energiepflanzen im Vergleich – Ertrag und Umweltverträglichkeit; Manuskript Teil l, erschienen in energie-pflanzen IV/2004, S. 13-16

Schönbuchner (2002): Untersuchungen zu Mobilität und Boden-Pflanze-Transfer von Schwermetallen auf/in uranhaltigen Haldenböden; Dissertation; Friedrich-Schiller-Universität Jena

Schürer, S. (2010): Festlegung des Bodenplanungsgebietes „Raum Freiberg“; Vortrag am 22.07.2010

Schürer, S. (2011): Bodenplanungsgebiet „Raum Freiberg“ – Die Lösung des Bodenschutzproblems!?; Vortrag im Rahmen der Sächs.-Thür. Bodenschutztage in Chemnitz am 16./17.06.2011

Serfling, A., Klose, R. (2008): Arsentransfer Boden – Pflanze - Entwicklung von Maßnahmen zur Verhinderung des Arsentransfers im System Boden- Pflanze, Schriftenreihe des LfULG, Heft 32/2008

Statistik des Kreises Usti nad Labem (2008)

Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2008): Kreisstatistik

Statistisches Landesamt Sachsen (2007): Agrarstrukturerhebung

Sumantecs (2008): Nachhaltiges Management von mit Spurenelementen kontaminierten Böden - Entwicklung und Evaluierung eines praxisnahen Expertensystems zur Auswahl risiko- und standortgerechter Sanierungsverfahren; Posterveröffentlichung im Rahmen des Forschungsprojektes Sumantecs

Wetzig, R. (2008); TU Bergakademie Freiberg. „Schwermetalle in Biomasse - Biomasseanbau unter den besonderen Bedingungen des Freiberger Raumes.“ Studienarbeit TU Bergakademie Freiberg und SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH

ANHANG

Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln nach EG-Richtlinie 2002/32/EG und Höchstgehalte an Schwermetallen in Lebensmitteln nach VO (EG) Nr. 466/2001

	As	Pb	Cd
Höchstgehalte in Futtermitteln in mg/kg, bezogen auf 88% v.H. Trockenmasse			
Einzelfuttermittel, wenn nicht anders aufgeführt	**2**	**10**	
Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprungs			**1**
Grün-, Luzern-, Kleegrünmehl, getrocknete Zuckerrübenschnitzel, getrocknet	**4**		
Grünfutter		**30**	
Alleinfuttermittel		**5**	
Höchstgehalte in Lebensmitteln in mg/kg Frischgewicht			
Getreide, allgemein			**0,1**
…Getreide ausgenommen: Kleie, Weizen, Keime, Reis			**0,2**
…Getreide (einschließlich Buchweizen) und Hülsenfrüchte		**0,2**	

Datenerhebung Lebensmittel- und Veterinäramt Freiberg (Grunig 2005)

	Getreideart	**Weizen**	**Roggen**	**Hafer**	**Sommergerste**
2002	Anzahl Proben	13	-	-	-
	davon ohne Beanstandung	-	-	-	-
	davon im Toleranzbereich	2	-	-	-
	davon beanstandet	11	-	-	-
2003	Anzahl Proben	22	-	1	1
	davon ohne Beanstandung	8	-	-	-
	davon im Toleranzbereich	3	-	1	-
	davon beanstandet	11	-	-	1
2004	Anzahl Proben	12	4	4	10
	davon ohne Beanstandung	1	2	1	8
	davon im Toleranzbereich	3	-	1	-
	davon beanstandet	8	2	2	2

Grenzwerte nach DüMV, AbfKlärV, BioAbfV, BBodSchV und DepV

	Arsen mg/kg TM	**Blei** mg/kg TM	**Cadmium** mg/kg TM
Grenzwerte nach **DüMV** (SM gelten als Nebenbestandteile)	40	150	1,5
AbfKlärV §4 (8)		100	1,5 (1,0)*
BioAbfV §4 (3) – Grenzwerte des aufzubringenden Bioabfalls		150	1,5
BioAbfV §9 (2) - Bodengrenzwerte nach Aufbringen von Bioabfall Ton Lehm Sand		 100 70 40	 1,5 1,0 0,4
BBodSchV – Bodengrenzwerte)[1] Pfad Boden-Pflanze: Ackerflächen	200 (50 red. Bed.)**	0,1 AN	0,10 AN (0,04 AN)***
BBodSchV – Bodengrenzwerte)[1] Pfad Boden-Pflanze: Grünland	50	1200	20
DepV – Zuordnungswerte (Feststoff) Rekultivierungsschicht		140	1,0
DepV – Zuordnungswerte (Eluatkriterien)	**Arsen** mg/l	**Blei** mg/l	**Cadmium** mg/l
DK 0 DK I DK II DK III Rekultivierungsschicht	0,05 0,2 0,2 2,5 0,01	0,05 0,2 1,0 5,0 0,04	0,002 0,004 0,05 0,1 0,002

)[1] Prüf- oder. Maßnahmewerte Pfad Boden-Pflanze, Angaben in mg/kg TM; königswasserlöslich, außer AN (=ammoniumnitratlöslich)
* bei Böden, deren Tongehalt < 5 % sowie deren pHWert > 5 und < 6 ist
** für Böden mit zeitweise reduzierenden Bedingungen
*** für Brotweizen und stark cadmiumanreichernde Gemüsearten

Vergleich von Schwermetallgehalten in Böden und Getreidepflanzen im Freiberger Raum (Grunig 2005)

		As in mg/kg TM	**Cd in mg/kg TM**	**Pb in mg/kg TM**
Belasteter Boden Hilbersdorf		979 KW	1,18 AN	2,68 AN
Unbelasteter Boden Brandis		4,0 KW	0,0053 AN	0,0055 AN
Hilbersdorf – gesamte Pflanze				
1997	Mais	**2,3**	**3,4**	**7,2**
1998	Winterroggen	**2,6**	**3,0**	**4,4**
Hilbersdorf – Frucht				
1997	Mais	0,15	**0,23**	**0,5**
1998	Winterroggen	0,2	**0,73**	**0,23**
Brandis – gesamte Pflanze				
	Winterroggen	0,02	0,03	0,13
Brandis – Frucht				
	Winterroggen	0,01	0,02	0,04
Grenzwerte Lebensmittel (Getreide) in mg/kg Frischgewicht		**-**	**0,1**	**0,2**
Grenzwerte Futtermittel (Einzelf.) in mg/kg bezogen auf 88% v.H. TM		**2**		**10**

Cadmium- und Bleigehalte in Getreidestroh- und Kornproben; Grün et al 1990 in (Grunig 2005)

	Probenzahl	**Durchschnittliche Gehalte in mg/kg TM**	
		Cd	**Pb**
Grenzwert Lebensmittel		0,1	0,2
Korn			
Triticale	1	0,39	0,91
Winterweizen	31	0,37	0,22
Winterroggen	8	0,25	0,62
Hafer	12	0,13	0,42
Sommergerste	8	0,10	0,26
Wintergerste	2	0,07	0,11
Stroh			
Triticale	1	1,30	14,0
Winterroggen	8	0,95	13,8
Winterweizen	26	0,59	4,0
Hafer	11	0,39	3,0
Sommergerste	9	0,19	3,0
Wintergerste	2	0,12	0,5

Versuche zur Aufnahme von Roggenganzpflanze, -stroh und -korn (Kiesewalter und Röhricht 2008)

Fläche / Variante		**As mg/kg TM**	**Cd mg/kg TM**	**Pb mg/kg TM**
AL 0	Bodengehalt	1543	2960	4,9
	Ganzpflanze	1,0	1,1	3,2
	Korn	0,3	0,3	0,3
	Stroh	1,4	0,5	1,8
AL 1	Bodengehalt	1382	3064	6,2
	Ganzpflanze	1,1	0,6	3,0
	Korn	0,3	0,3	0,2
	Stroh	1,4	0,4	1,4
AL 2	Bodengehalt	616	1678	5,0
	Ganzpflanze	9,7	1,4	14,3
	Korn	0,4	0,6	0,2
	Stroh	12,0	1,7	16,6
GW Futter		2	1,0	10*
GW Lebensmittel			0,1	0,2

Verminderung der Verschmutzung des Futters mit Boden bei der Aufnahme von Grünland- und Ackerfutter (Klose 2003)

Ursache der Verschmutzung	Maßnahme zur Abhilfe
1. Schnittnutzung bei Grünland (Grünfutter, Silage, Heu)	
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 stehenlassen
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
2. Weidewirtschaft (auf Grünland und Ackerfutterflächen)	
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)
3. Ackerfutter	
lückiger Pflanzenbestand	*bei besonders lückigem Bestand Verzicht auf Futternutzung
Lager	*Verwendung standfester Sorten
	*kein Anbau leicht lagernder Zwischenfrüchte (z.B. Erbsen)