



Universität Potsdam



Institut für Erd- und Umweltwissenschaften

Datenauswertung zur Exkursion

Analytische Geochemie

BScW16 Umwelt- und Analytische Geochemie



von

Martin Harms

Matrikelnr.: 776420

Alexander Prinz

Matrikelnr.: 777284

Abgabe: 5. Mai 2018

Danksagung

Unser Dank gilt Prof. Dr. Jörg Erzinger und Dr. Martin Zimmer für die Organisation und Betreuung der Exkursion sowie für die ständige Verfügbarkeit bei fachlichen Fragen. Für die Unterbringung und Gastfreundschaft während der Geländearbeit danken wir dem Gästehaus Heidi. Ein besonderer Dank gilt Antje Musiol für die Unterstützung während der Labortätigkeiten.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Regionale Geologie	2
3	Geschichte des Bergbaus im Erzgebirge	3
3.1	Das Mittelalter	3
3.2	Die Moderne	4
4	Auswirkung von Schwermetallen	5
4.1	Cadmium (Cd)	5
4.2	Chrom (Cr)	5
4.3	Kupfer (Cu)	5
4.4	Nickel (Ni)	6
4.5	Blei (Pb)	6
4.6	Zink (Zn)	6
5	Geländearbeit	6
5.1	Bodenproben	7
5.2	Flusssedimentproben	8
6	Geochemische Analyse	9
6.1	Probenaufbereitung	9
6.2	Königswasseraufschluss	10
6.2.1	Theoretische Grundlage	10
6.2.2	Praktische Durchführung	10
6.3	ICP-OES	10
6.3.1	Theoretische Grundlage	11
6.3.2	Praktische Durchführung	12

7	Ergebnisse	13
7.1	Bodenproben	13
7.2	Flusssedimentproben	15
8	Interpretation	18
8.1	Bodenproben	18
8.2	Flusssedimentproben	18
9	Ausblick	20
10	Literaturverzeichnis	21
11	Anhangsverzeichnis	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildungen

1	Geologische Einheiten des Erzgebirges	2
2	Windrosen der Erzgänge im Erzgebirge	3
3	Probenpunkte der Auenlandschaft	7
4	Qxidationshalo bei Bodenprobe I-3	8
5	Probenpunkte der Flusssedimente	9
6	Apparatur für den Schwermetallaufschluss mittels Königswasser . .	11
7	Schematische Darstellung eines Atomes, das vom Grundzustand in den angeregten Zustand wechselt	12
8	Verteilung der spezifischen Schwermetallkonzentration in der be- probten Flussaue	14
9	Mittelwerte der gemessenen Schwermetallkonzentrationen verglichen mit den Vorsorgewerten für Böden	16
10	Verlauf der Schwermetallkonzentration der Flusssedimente	17

Tabellenverzeichnis

Tabellen

1	Konzentrationen der Kalibrierlösungen für die Messung mittels ICP-OES	13
2	Vorsorgewerte für Böden nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	15

1 Einleitung

Ein bedeutender Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche Sachsens befindet sich im Erzgebirge beziehungsweise Erzgebirgsvorland. Aufgrund geogener Grundbelastungen sowie dem Abbau von Erzen in der Region kommt es zur Anreicherung von Schwermetallen in Flusssedimenten sowie anliegenden Auenlandschaften. Erhöhte Gehalte von Schwermetallen im Boden haben eine toxische Wirkung auf lebende Organismen. Über den Eintrag in die Nahrungskette können so auch negative Auswirkung auf die menschliche Gesundheit entstehen (LfL, 2006). Mit dem Ziel, die Konzentration von bestimmten Elementen (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn) in Sedimenten zu untersuchen, fand im Rahmen des Moduls „Umwelt- und Analytische Geochemie“ vom 16.06.2017 bis 17.06.2017 eine Exkursion in den Landkreis Freiberg (Sachsen) statt. Es wurden Sedimentproben entlang des Flusslaufes der Freiburger Mulde sowie mehrere Bodenproben einer Auenlandschaft bei Gleisberg (Mittelsachsen) entnommen. Die geochemische Analyse von relevanten Schwermetallen wurde durch einen Königswasseraufschluss und anschließender Messung mittels ICP-OES realisiert. Die ermittelten Metallgehalte der Proben wurden mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) verglichen und bewertet. Abschließend wurden verschiedene Möglichkeiten des Umgangs kontaminierter Böden sowie geeignete Sanierungsmethoden erörtert.

2 Regionale Geologie

Das Erzgebirge wird mit dem Granulitgebirge, dem Thüringisch-Fränkisch-Vogtländischen Schiefergebirge, der Münchberger Masse sowie dem Fichtelgebirge zum Fränkisch-Thüringisch-Sächsischem Grundgebirge zusammengefasst (Sebastian, 2013).

Das Erzgebirge ist untergliedert in einen westlichen- und östlichen Teil. Der westliche Teil ist charakterisiert durch schwach- bis mittelgradige Metamorphite und der östliche Teil zeichnet sich durch mittelgradige Metamorphite und Granitoide aus. Zwischen diesen Einheiten liegt eine Variszische Scherzone, die Flöhazone (s. Abb. 1; Meschede 2018). Im Anschluss an die Variszische Orogenese wurde das Erzgebirge während der Alpidischen Gebirgsbildung verkippt und bildete ein Pultschollengebirge (Sebastian, 2013).

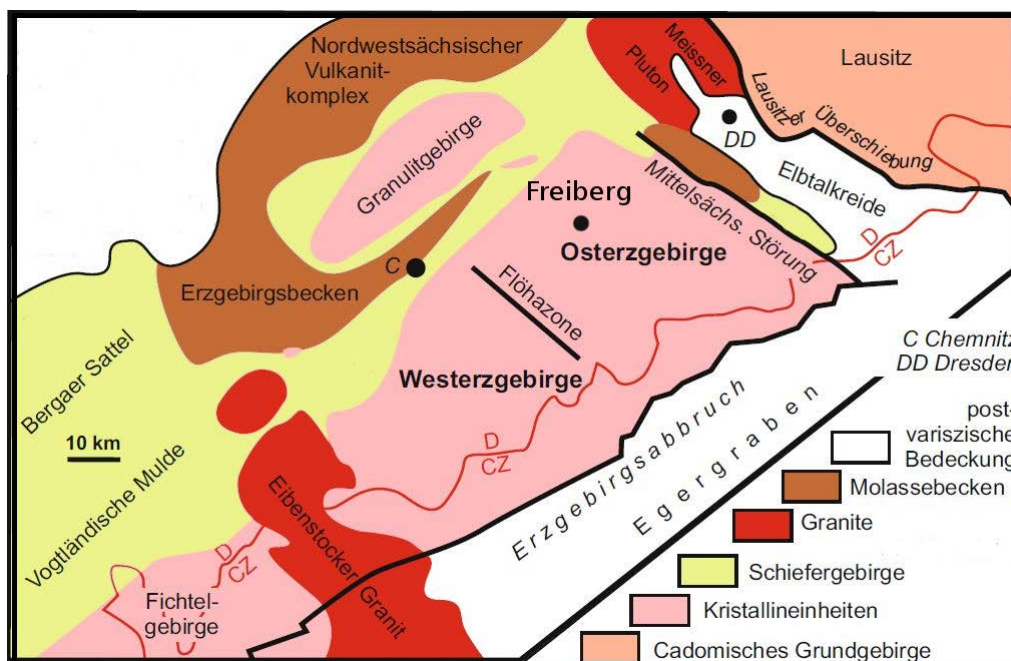


Abb. 1: Geologische Einheiten des Erzgebirges. Freiberg befindet sich im Osterzgebirge und ist charakterisiert durch kristalline Einheiten. Grafik modifiziert nach Sebastian (2013).

Die hauptsächliche Bildung von Lagerstätten im Erzgebirge sind Gänge. Die Erz-

gänge resultieren aus einer späteren Mineralisierung in Spalten und Klüften, die aufgrund von tektonischer Beanspruchung des Gesteins entstanden sind (s. Abb. 2). Des Weiteren gibt es im Erzgebirge die Lagerstättenstrukturen Stöcke, Schlote und Lager. Auch bekannt sind Anreicherungen von Zinnerzen in Seifenlagerstätten (Sebastian, 2013).

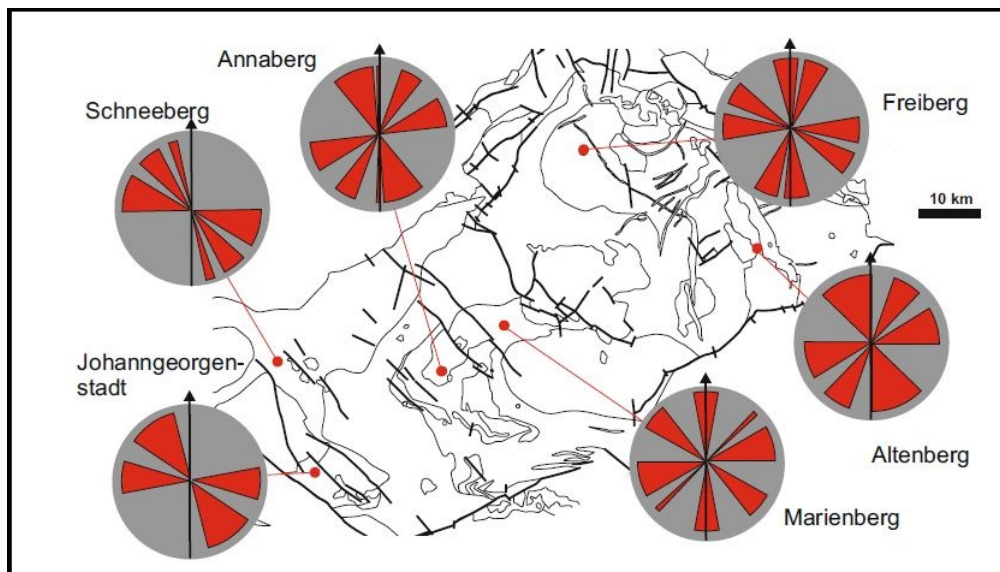


Abb. 2: Windrosen der Erzgänge im Erzgebirge. Im Raum Freiberg streichen die Erzgänge NNE-SSW und ESE-WNW. Grafik entnommen aus Sebastian (2013).

3 Geschichte des Bergbaus im Erzgebirge

3.1 Das Mittelalter

Im Jahr 1168 wurde von durchziehenden Händlern das erste Silber im Erzgebirge entdeckt (Sebastian, 2013). Anschließend entwickelte sich aus dem wenig besiedelten Erzgebirge eine der bedeutendsten Bergbauregionen. Im Zuge dessen wurde Freiberg die reichste und größte Stadt in Sachsen (Neukirchen, 2016). Der ursprüngliche Abbau von Erzen beschränkte sich auf Silber. Ab dem 13. Jahrhundert

wurde auch Zinn im Erzgebirge abgebaut. Das Silber wurde zu Beginn entlang des Streichens der Gänge geschürft, der Abbau von Zinn fand hauptsächlich in Seifenlagerstätten und Stöcken statt (Sebastian, 2013). Durch den fortschreitenden Abbau von Silber entstanden kleine Schächte, die mit Handhaspeln ausgestattet waren. Als der Grundwasserspiegel erreicht wurde, wurden verschiedene Konstruktionen, die sogenannten Künste, errichtet, um das Wasser abzuführen. Als die menschliche Kraft nicht mehr ausreichte, um Erze, taubes Gestein und Wasser aus den Schächten zu transportieren, wurden Pferdegöpel eingesetzt. Als 1641 das Sprengen eingeführt wurde, ersetzte dies die Arbeit mit Schlägel und Eisen. Mit dem wirtschaftlichen Niedergang während des Dreißigjährigen Krieges kam der Bergbau im Erzgebirge zum Erliegen (Sebastian, 2013).

3.2 Die Moderne

Im 18. Jahrhundert erlebte der Bergbau im Erzgebirge einen Aufschwung. Insbesondere neue Verhüttungsmethoden machten den Abbau von Erzen mit niedrigerem Silbergehalt rentabel. Ferner wurden durch den wirtschaftlichen Aufschwung auch weitere Metalle abgebaut, unter anderem Kobalt, Nickel und Bismut. Im Jahre 1765 wurde die Freiburger Bergakademie gegründet und vereinte das montanwissenschaftliche Wissen mit der Forschung. Im 19. Jahrhundert wurde durch neue Erfindungen die Fördertechnik weiterentwickelt. So kamen Drahtseile, Dampfkraft und die elektrische Förderung zum Einsatz (Sebastian, 2013). Nach der Gründung der DDR, Mitte des 20. Jahrhunderts, wurden im Erzgebirge Blei, Zink, Wolfram, Molybdän, Zinn sowie Uran abgebaut. Nach der Wende konnte der Abbau von Erzen nicht mehr den Weltmarktpreisen standhalten und kam 1990 zum Erliegen (Sebastian, 2013).

4 Auswirkung von Schwermetallen

4.1 Cadmium (Cd)

Cadmium ist ein nicht essentielles Element, das schon in geringen Dosen toxisch wirkt. Es verhält sich metabolisch ähnlich zu Zink und kann daher Zink im Körper verdrängen (Moore et al., 1984). Zudem wirkt es toxisch auf die Nieren, das Skelett (Osteoporose) und das Atmungssystem und wird als kanzerogen eingestuft (IPCS, 1992; 2007).

4.2 Chrom (Cr)

Chrom wird in geringen Dosen für den Fett- und Proteinmetabolismus benötigt. Dabei sind Mengen von etwa 50-200 μg für den menschlichen Organismus nötig (Bielicka et al., 2005). Darüber hinaus wirkt es auf viele innere Organe in hohen Mengen toxisch, mutagen sowie kanzerogen. Die Toxizität hängt dabei von der Oxidationszahl des Chroms in der Verbindung ab. So liegt die letale Dosis von Cr(III)-Verbindungen bei 185-615 mg/kg und die von Cr(IV) bei 20-250 mg/kg (Risco et al., 2017).

4.3 Kupfer (Cu)

Kupfer gilt als essentielles Spurenelement für den menschlichen Organismus und sollte in einer Menge von 12,5 μg /kg aufgenommen werden, jedoch sollte es 10 mg/Tag nicht überschreiten (WHO, 2004). Kupfer ist stark giftig für Phytoplankton (Sunda, 1975). Die Löslichkeit von Kupferionen aus Kupfer-Metallverbindungen (Legierungen) wie z. B. Bronze ist schon bei geringfügig sauren pH-Werten gegeben.


4.4 Nickel (Ni)

Nickel hat eine dermatologisch kontaktallergene Wirkung auf eine Vielzahl von Menschen. Des Weiteren wirkt es toxisch auf die Lunge (Lungenfibrose), auf das kardiovaskuläre System sowie auf die Nieren (Duda-Chodak & Błaszczuk, 2008). Einige Nickelverbindungen wie Nickelsulfat und Nickelsulfit stehen unter dem Verdacht kanzerogen zu wirken (IARC, 1990).

4.5 Blei (Pb)

Blei ist ein sehr giftiges Metall, für das keine Aufnahmemenge ohne gesundheitliche Beeinträchtigung bekannt ist. Die toxische Wirkung bezieht sich auf das Nervensystem (Embryos, Föten, Kinder) sowie auf Nieren und das Herz-Kreislaufsystem (Itter & Pabel, 2013). Darüber hinaus gilt es als kanzerogen (IARC, 2006).

4.6 Zink (Zn)

Verglichen mit anderen  Metallen ist Zink als relativ harmlos anzusehen. So sind akute Zinkvergiftungen sehr selten. Ferner gilt Zink als wichtiges Spurenelement (Plum et al., 2010). Es ist essentiell bei vielen Stoffwechselprozessen. So erfordern alle Protein- und Nukleinsäure-Stoffwechsel sowie Zellwachstum, -teilung und -funktion eine ausreichende Zinkversorgung (Vallee & Falchuk, 1993; Plum et al., 2010). Die letale Dosis von Zink liegt bei 3 g/kg (Plum et al., 2010).

5 Geländearbeit

Im Zeitraum vom 16.06.2017 bis 17.06.2017 fand die Geländeübung in Freiberg statt. Es wurden neun Bodenproben einer Auenlandschaft entnommen (s. Abb. 3) sowie an acht Lokalitäten entlang der Freiburger Mulde Flusssedimente beprobt

(s. Abb. 5 und Anhang A).

5.1 Bodenproben

Die Bodenproben wurden mittels eines Pürckhauers in zwei Reihen mit jeweiligen Abständen von 20 m entnommen. Die Beprobung fand in Tiefen von 10-70 cm statt.

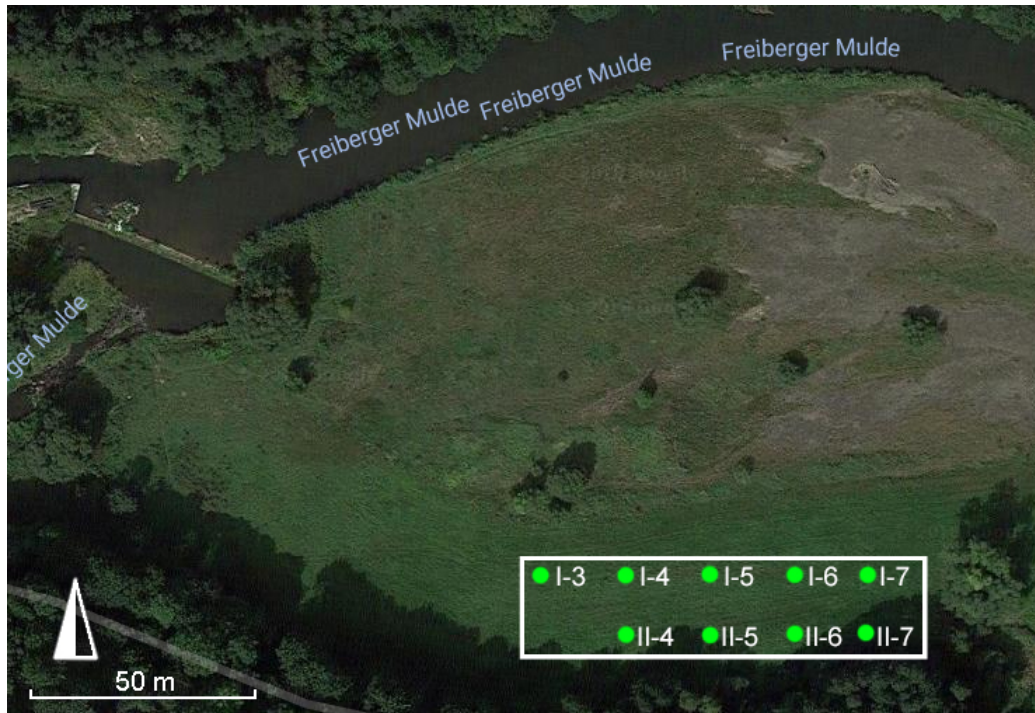



Abb. 3: Probenpunkte der Auenlandschaft. Es wurden jeweils Sedimente aus Tiefen von 10-30 cm, 30-50 cm und 50-70 cm entnommen. Die Lokalität befindet sich bei Gleisberg (s. Punkt 8 in Abb. 5). Karte modifiziert nach [google.de/maps](https://www.google.de/maps). 

Pro Loch wurden drei verschiedene Proben für je 20 cm Tiefe separiert. Es wurde beobachtet, dass die Korngrößen zur Tiefe hin stetig feiner wurden. Vereinfacht wurden die Proben von 10-30 cm als sandig, die Proben von 30-50 cm als schluffig und die Proben von 50-70 cm als tonig angesprochen. In Probe I-3 zeigte sich in circa 65 cm Tiefe eine fleckige Oxidation in Form von Oxidationsshalos (s. Abb. 4).



Abb. 4: Blau-graue Oxidationshalo bei Bodenprobe I-3 in circa 65 cm Tiefe.

5.2 Flusssedimentproben

Um die Verteilung der Schwermetallkonzentrationen in den Flusssedimenten zu bestimmen, wurden über einen Flusslauf von etwa 55 km acht Proben entnommen (s. Abb. 5 sowie Anhang A). Es wurde möglichst feines Sediment aus dem Fluss entnommen und mit einem 1 mm-Sieb gefiltert. Ferner wurde mit dem Taschengerät pH 330i/340i der Firma WTW die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert sowie die Temperatur des Wassers gemessen.



Abb. 5: Probenpunkte der Flusssedimente entlang der Freiburger Mulde. Karte modifiziert nach google.de/maps.

6 Geochemische Analyse

Um die Schwermetallgehalte des Probenmaterials zu bestimmen, wurden dies mit Königswasser aufgeschlossen und anschließend mittels ICP-OES gemessen. Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen erläutert und die praktische Durchführung beschrieben.

6.1 Probenaufbereitung




Sowohl die Flusssedimentproben wie auch die Bodenproben wurden in einem Trockenschrank über einem Zeitraum von 24 Stunden bei 70 °C getrocknet, um die enthaltene Feuchtigkeit restlos zu entziehen. Anschließend wurden die Proben mit einem Achat-Mörser zerkleinert und homogenisiert, und im weiteren Verlauf durch ein Polyestergerewe analysenfein ($< 63 \mu\text{m}$) gesiebt.

6.2 Königswasseraufschluss

6.2.1 Theoretische Grundlage

Einige unedle Metalle (u. a. Chrom) bilden beim Lösen in konzentrierten Säuren eine Oxid-Haut, die den weiteren Lösungsprozess verhindern (Passivierung). Aus diesem Grund ist es notwendig, das Probenmaterial mit Königswasser aufzuschließen. Dies ist eine Mischung aus konzentrierter Salzsäure und konzentrierter Salpetersäure im Verhältnis 3:1. Dieses Säuregemisch wird aufgrund ihrer stark oxidierenden Wirkung auch dazu benutzt, um edle Metalle wie zum Beispiel Gold und Platin zu lösen (Riedel, 2010).

6.2.2 Praktische Durchführung

Von dem analysenfeinen Probenmaterial wurden 3 g ($\pm 0,01$ g) in  250 ml Erlenmeyerkolben eingewogen und die exakte Einwaage notiert. Das Lösen der Schwermetalle aus den Flusssediment- sowie Bodenproben erfolgte mithilfe eines Königswasseraufschlusses (s. Abb. 6). Das Reaktionsgemisch wurde für zwei Stunden am Sieden gehalten und anschließend abgekühlt. Danach wurde es über einen  lter in einen 100 ml Maßkolben überführt. Der Filter, als auch das Reaktionsgefäß wurden mit verdünnter Salpetersäure nachgespül.

6.3 ICP-OES

Die Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppelten Plasma (ICP-OES, engl.: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) ist eine Methode zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Elementen. Anwendung findet diese Methode bevorzugt in der Umweltanalytik, um Elementzusammensetzungen von Abfällen, Böden, Wasser und Pflanzen zu bestimmen (Gey, 2008).

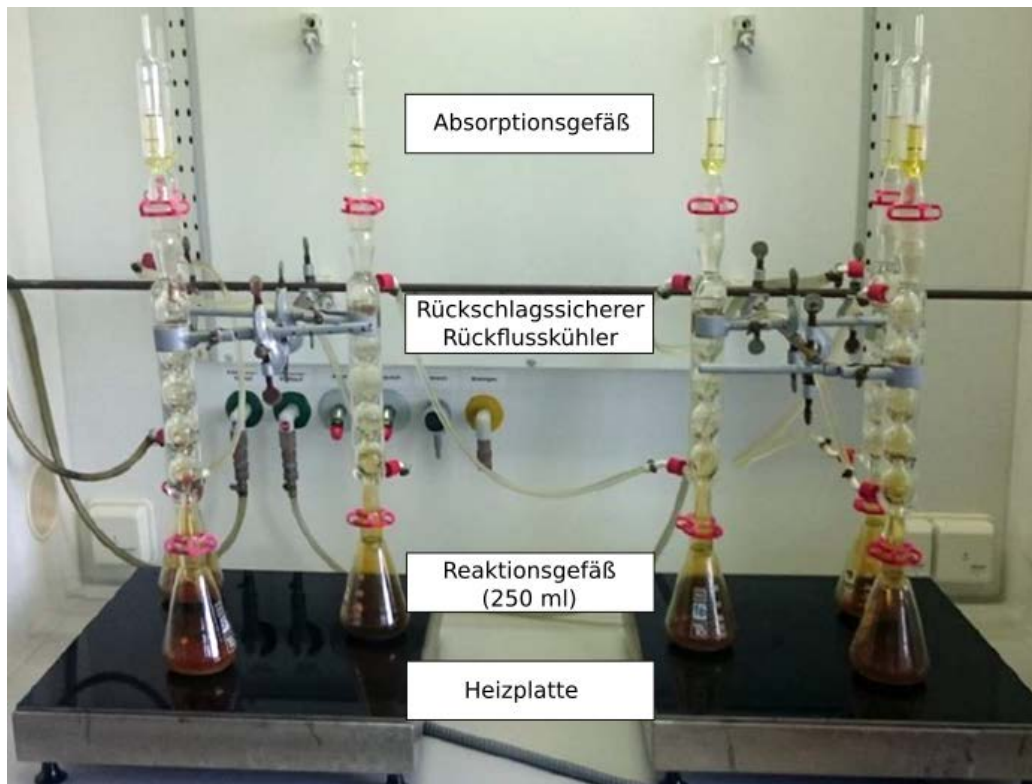


Abb. 6: Apparatur für den Schwermetallaufschluss mittels Königswasser. Das eingewogene Probenmaterial wurde mit Königswasser in den 250 ml Erlenmeyerkolben gegeben. Das Gemisch wurde mit der Heizplatte erwärmt und zwei Stunden am Sieden gehalten, um die Reaktion zu beschleunigen. An den Kühlflächen des rückschlagssicheren Rückflusskühlers kondensieren entstehende Dämpfe und fließen in den Erlenmeyerkolben zurück. Das Absorptionsgefäß fängt die leicht flüchtigen Schwermetallhalogenide auf, um einen quantitativen Aufschluss zu erhalten (Wittenberger, 1973).

6.3.1 Theoretische Grundlage

Das durch den Königwasseraufschluss gelöste Probenmaterial wird zerstäubt und einem energiereichen Argon-Plasma zugeführt. Dieses 10.000 K-heiße Plasma regt die Atome und Ionen an. Dabei wechseln sie von ihrem Grundzustand in einen angeregten Zustand (s. Abb. 7). Da die Atome in diesem Zustand nicht stabil sind, wechseln sie in den energiearmen Grundzustand zurück. Dabei wird in Form von Photonen eine charakteristische Strahlung abgegeben. Diese kann bestimmten Elementen zugeordnet werden. Ferner wird über die Intensität der Strahlung auch

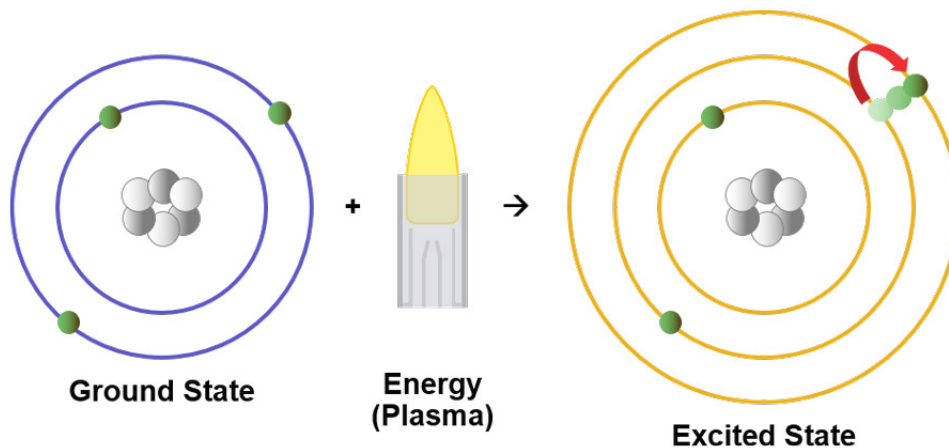


Abb. 7: Das Atom im Grundzustand (links) wird dem Plasma zugeführt. Hierbei wechselt es kurzzeitig in einen energiereichen angeregten Zustand (rechts). Dabei geben die Photonen eine charakteristische Strahlung ab. Grafik entnommen aus: thermofisher.com.


die Konzentration der Elemente am Detektor gemessen (Gey, 2008).

6.3.2 Praktische Durchführung

Die Messung fand am Spektrometer VARIAN Vista MPX statt und wurde mit der Software ICP-Expert ausgewertet. Die Analyse mittels ICP-OES weist über mehrere Konzentrationseinheiten eine lineare Konzentrations-/Intensitäts-Regression auf (Arbeitsanweisung Universität Potsdam). Trotzdem wurde versucht, den zu erwartenden Messwert der Probe zwischen den Konzentrationen der beiden Kalibrierlösungen zu legen. Es wurde angenommen, dass die Schwermetallgehalte in dem Probenmaterial die Vorsorgewerte für Böden nach der BBodSchV (1999) überschreiten. So wurde für die niedrig-konzentrierte Kalibrierlösung (c_{\min}) der Vorsorgewert für schluffige Böden (s. Tab. 2) angenommen und für die hoch-konzentrierte Kalibrierlösung (c_{\max}) das dreifache dieses Wertes (s. Tab. 1). Aus einer 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ Cadmium -, Chrom -, Kupfer -, Nickel -, Blei - und Zink -Stammlösung wurden beide Kalibrierlösungen hergestellt. Diese wurde in Form einer salpetrigen Säure realisiert um eventuelle Matrix-Effekte zu minimieren (Olesik, 1991). Nach dem

Tab. 1: Konzentrationen der Kalibrierlösungen für die Messung mittels ICP-OES. Alle Angaben in $\mu\text{g}/\text{ml}$.

Konzentration	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
c_{\min}	1	60	40	50	70	150
c_{\max}	3	180	120	150	210	450

Messvorgang stellte sich heraus, dass einige Werte (z. B. Blei) weit über dem angenommenen Wert liegen. Demzufolge wurde die Aufschlusslösung sowie  verdünnt, dass sie innerhalb der Konzentrationen der Kalibrierlösung liegen.

7 Ergebnisse

7.1 Bodenproben

Aus den erhobenen Daten (s. Anhang B) wurden die Proben von 10-30 cm ausgewählt, um eine Verteilung der spezifischen Schwermetallkonzentrationen zu bestimmen (s. Abb. 8). Es ist zu erkennen, dass die Probenpunkte I-6 und II-4 (bis auf Chrom), im Vergleich zu den anderen Probenpunkten, eine höhere Konzentration an Schwermetallen aufweisen. Vertikal sind die Konzentrationswerte der Schwermetalle weitestgehend gleichbleibend (s. Anhang B).

Des Weiteren wurden die Messergebnisse (s. Anhang B) mit den Vorsorgewerten der BBodSchV (s. Tab. 2) verglichen (s. Abb. 9). Hierbei wurden alle Messergebnisse der einzelnen Metalle arithmetisch gemittelt. Der gemittelte Wert der Cadmiumkonzentration beträgt 13,43 ppm und überschreitet den Vorsorgewert um das 33,6 fache (s. Abb. 9 (Cd)). Die Chromkonzentration beträgt 51,35 ppm und überschreitet den Vorsorgewert um das 1,7 fache (s. Abb. 9 (Cr)). Kupfer wurde auf einem Wert von 250,77 ppm ermittelt und überschreitet den Vorsorgewert um das 12,5 fache (s. Abb. 9 (Cu)). Die Nickelkonzentration beträgt 26,35 ppm und

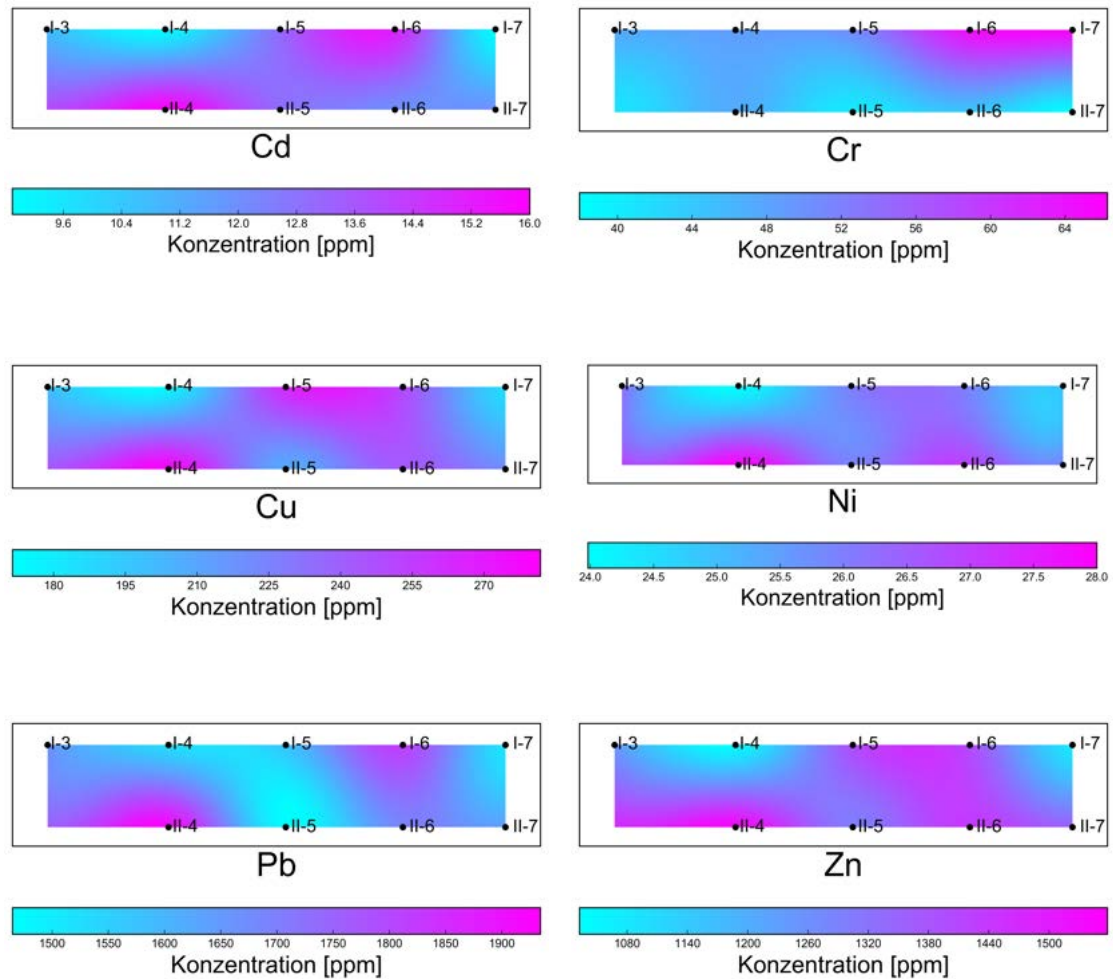


Abb. 8: Verteilung der spezifischen Schwermetallkonzentration in der beprobten Flussaue (s. Abb. 3). Zu erkennen ist, dass bei Probenpunkt II-4, bis auf Chrom, alle anderen Schwermetalle eine erhöhte Konzentration aufweisen. Ferner sind bei Probenpunkt I-6 die Konzentrationen aller Schwermetallgehalte erhöht.

überschreitet den Vorsorgewert um das 1,8 fache (s. Abb. 9 (Ni)). Blei wurde mit 1682,13 ppm gemessen und überschreitet den Vorsorgewert 42,1 fache (s. Abb. 9 (Pb)). Der Wert der gemessenen Zinkkonzentration beträgt 1410.82 ppm und entspricht dem 23,5 fachen des Vorsorgewertes (s. Abb. 9 (Zn)).

Tab. 2: Vorsorgewerte für Böden nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999). Alle Angaben in ppm.

Bodenart	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ton	1,5	100	60	70	100	200
Schluff	1	60	40	50	70	150
Sand	0,4	30	20	15	40	60

7.2 Flusssedimentproben

Die Messung der Schwermetallkonzentration der Flusssedimente wurde gegen die relative Entfernung des Flusslaufes aufgetragen (s. Abb. 10). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Konzentrationen bis Probenpunkt 4 (Rathsmühle) ansteigt und im Trend, bis auf Cadmium und Nickel, wieder sinkt.

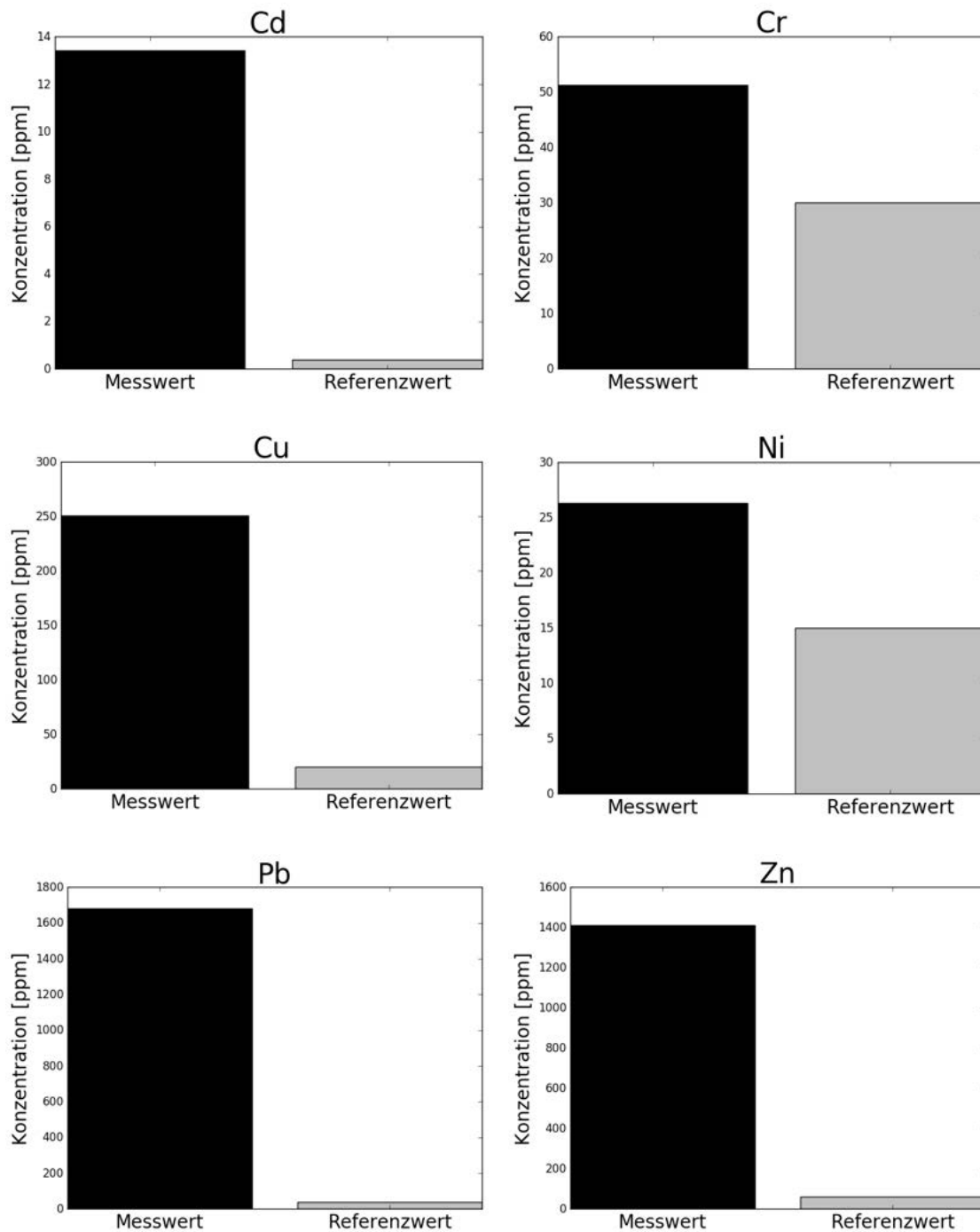


Abb. 9: Die Balkendiagramme zeigen jeweils die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen der Schwermetalle aller Messpunkte (schwarzen Balken) im Vergleich zu den Vorsorgewerten der BBodSchV (graue Balken). Für alle gemessenen Schwermetalle ist eine erhebliche Überschreitung der Vorsorgewerte zu sehen.

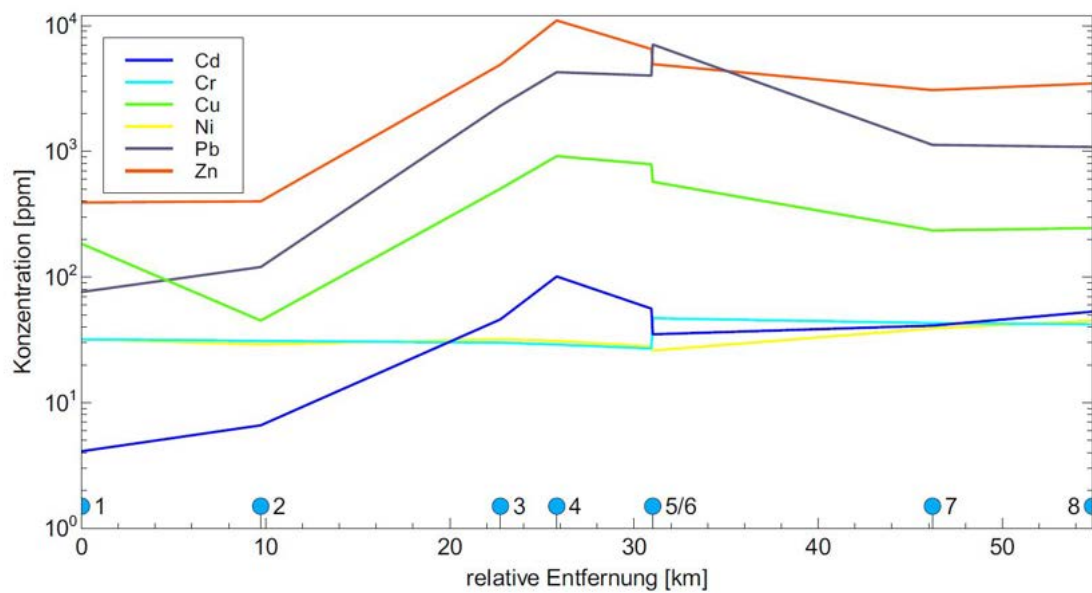


Abb. 10: Verlauf der Schwermetallkonzentration der Flusssedimente. Die Konzentrationen der gemessenen Schwermetalle sind gegen die relativen Entfernungen der Probenorte zueinander aufgetragen. Die Ergebnisse wurden linear interpoliert, um einen Verlaufstrend besser zu erkennen. Die Y-Achse, welche die Konzentrationen abbildet, wurde dekadisch logarithmiert. Probenpunkte: 1: Mulda, 2: Lichtenberg, 3: Talweg, 4: Rathsmühle, 5: Münzbach, 6: Mulde, 7: Bevensmühle, 8: Gleisberg.

8 Interpretation

Auenlandschaften sind natürliche Überflutungsgebiete, deshalb werden die Schwermetallkonzentrationen in den Böden auf erhöhte Schwermetallgehalte in den Flusssedimenten zurückgeführt. Der Eintrag von Schwermetallen in diese ist auf geogene sowie auf anthropogene Quellen (Bergbau, Industrie) zurückzuführen.


8.1 Bodenproben

Die horizontale Verteilung von Schwermetallen im Boden (s. Abb. 8) wird auf die Heterogenität von Korngrößen und Zusammensetzung des Bodenmaterials zurückgeführt. Aussagen über großflächige Konzentrationen können aufgrund der geringen Anzahl an Messwerten nicht getätigt werden.

Des Weiteren deuten die Oxidationshalos auf einen schwankenden Wasserspiegel hin. Dies deutet darauf hin, dass die beprobte Auenlandschaft häufig überflutet wurde.

8.2 Flusssedimentproben

Am ersten Probeort ist bereits eine geringe Überschreitung der Vorsorgewerte (s. Abb. 9) für alle gemessenen Schwermetalle zu verzeichnen. Der zweite Probeort zeigt eine geringfügige Konzentrationsabnahme für Kupfer, Chrom und Nickel wohingegen Zink, Blei und Cadmium eine geringe Zunahme erfahren haben. Die Zu- und Abnahmen können durch Verdünnungen bzw. Anreicherungen durch Zuflüsse in die Mulde hervorgerufen sein. Am dritten Probeort ist ein erheblicher Anstieg der Konzentration für Cadmium, Nickel, Blei und Zink zu erkennen. An diesem Probeort befinden sich bereits einige Halden der ehemaligen Silbergruben in der Nähe. Durch Auswaschungen durch sauren Regen können Metallionen über Lösungsprozesse in die Mulde gelangt sein. An allen bereits aufgeführten

drei Probeorten ist der pH Wert über 7 (s. Anhang C), sodass entsprechende pH-Regimeänderungen zu Fällungsreaktionen führen können. Die so eingebrachten Schwermetallionen  fallen aus und lagern sich in den Flusssedimenten an. Zudem gibt es einige Zuflüsse kleinerer Bäche welche das Eintragspotenzial erhöhen. Auch für den 4. Probeort ist ein Anstieg der Konzentration mit fast gleichem Trend zu den beiden letzten Probeorten zu erkennen. In dieser Region befinden sich ebenfalls alte Halden sowie Zuflüsse. Zum fünften Probeort nimmt die Konzentration geringfügig ab. Die Zuflüsse in diesen Regionen scheinen keine weitere Konzentrationserhöhung zu verursachen. Der sechste Messort zeigt relativ dazu eine geringfügig erhöhte Konzentration für Blei und Chrom während die Konzentrationen der anderen Schwermetalle leicht gesunken sind. Es handelt sich um den zufließenden Münzbach. Dieser scheint ähnliche Schwermetalleinträge zu haben, wobei jedoch ein zusätzlicher Chromeintrag zu beobachten ist. Dieser scheint unabhängig von dem dominierenden Silberbergbau durch eine andere Quelle zu kommen. Am siebenten Probeort sind die Konzentrationen von Kupfer, Zink und Blei weiter gefallen wobei die Chromkonzentration nahezu konstant zum letzten Probeort geblieben ist. Jedoch ist die Nickel und Cadmiumkonzentration leicht angestiegen. An dieser Stelle scheint der Zufluss anderer Flüsse/Bäche zu einer Konzentrationsverringerung von Kupfer, Zink und Blei zu führen. Diese Zuflüsse bringen jedoch mehr Cadmium und Nickel ein. Für die Cadmiumquelle könnten hier zusätzlich Reifen- und Bremsbelagabrieb durch umliegenden Straßen verantwortlich gemacht werden. Etwa 200 m flussaufwärts vom Probeort befindet sich die Autobahn A4. Dadurch ist ein hohes Potenzial an durch Reifen- und Bremsbelagabrieb verursachter Cadmumeintrag gegeben. Am letzten Messort sind bis auf Cadmium alle Schwermetallkonzentrationen des vorigen Messortes nahezu gleich. Die Cadmiumkonzentration könnte durch weitere Cadmumeinträge von den umliegenden Straßen erhöht sein.

9 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen sehr hohe Schwermetallkonzentrationen an den Beprobungsorten. Es kann angenommen werden, dass das gesamte Muldetal stromaufwärts von Freiberg stark mit Schwermetallen belastet ist. Es liegt also nah, dass entsprechende Maßnahmen ergriffen werden müssen, um Mensch und Natur vor etwaigen Auswirkungen dieser Schwermetalle zu schützen. Eine Möglichkeit wäre, die belasteten Gebiete zu dekontaminieren. Die Möglichkeiten einer Dekontamination sind sehr vielseitig, jedoch oft schwer umzusetzen. Eine Bodensanierung etwa könnte an landwirtschaftlich interessanten Stellen sowie Gartenanlagen bzw. Privatbau angewendet werden. Hierbei werden die oberen Bodenhorizonte durch nichtbelasteten Boden substituiert. Diese Möglichkeit ist jedoch sehr kostenintensiv und der abgetragene, kontaminierte Boden muss durch entsprechende Prozesse an anderer Stelle dekontaminiert, oder zumindest isoliert gelagert werden. Vermutlich wird ein großer Teil der Schwermetalleinträge durch Ausspüleffekte von alten Abraumhalden induziert. Diese Halden liegen größten Teils frei. Das heißt, sie sind nicht durch hydraulisch isolierende Schichten abgedeckt. Eine Sanierungsmöglichkeit bietet demnach das Abdecken der Abraumhalden mit Wasserundurchlässigen Sperrschichten, welche durch eine Aufschüttung von Mutterbodenbedeckungen ergänzt werden können. Die Bodenbedeckung ermöglicht eine Bepflanzung der Halden um sie vor Winderosion zu schützen und optisch in das Landschaftsgebiet zu integrieren. Teilweise wird die Sanierung alter Abraumhalden im Erzgebirge bereits getätigt. Eine weitere Möglichkeit mit der Schwermetallbelastung umzugehen bietet die Aufklärung der in den belasteten Gebieten lebenden Menschen. Konkret bedeutet das, dass den ansässigen Menschen die Gefahr, etwa durch Anbau diverser Obst- und Gemüseerzeugnisse in ihren Gartenanlagen aufgezeigt wird. Sofern nicht die oberen Bodenhorizonte belastet sind, könnten Pflanzen vorgeschlagen werden, welche flach wurzeln und so keine Schwermetalle aufnehmen.

10 Literaturverzeichnis

- BBodSchV - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1999, BGBl. I, S. 1554.
- Bielicka, A., Bojanowska I., Wiśniewski A., 2005, Two Faces of Chromium - Pullant and Bioelement. Polish Journal of Environmental Studies, 14 (1): 5-10.
- Duda-Chodak, A., Błaszczuk, U., 2008, The Impact of Nickel on Human Health. J. Elementol 13(4): 685-696.
- Gey, M. H., 2008, Instrumentelle Analytik und Bioanalytik: Biosubstanzen, Trennmethode, Strukturanalytik, Applikationen. Berlin, Heidelberg, Springer, 470 S.
- IARC - International Agency for Research on Cancer, 1990, Chromium, nickel and welding. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 49: 1-648. PMID: 2232124.
- IARC - International Agency for Research on Cancer, 2006, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 87: Inorganic and Organic Lead Compounds, 514 S.
- IPCS - International Programme on Chemical Safety, 1992, Cadmium. Geneva, Environmental Health Criteria 134.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.html>.
- IPCS - International Programme on Chemical Safety, 2007, Cadmium, cadmium chloride, cadmium oxide, cadmium sulphide, cadmium acetate, cadmium sulphate. Geneva, International Chemical Safety Cards 0020, 0116, 0117, 0404, 1075 and 1318.
<http://www.who.int/ipcs/publications/icsc/en/index.html>.
- Itter, H., Pabel, U., 2013, Toxikologie von Blei, Kupfer und Zink. Bundesinstitut

- für Risikobewertung. Symposiumsvortrag vom 18.03.2013, Powerpoint.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 2006, Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Dresden.
- Meschede, M., 2018, Geologie Deutschlands: Ein prozessorientierter Ansatz. Berlin, Springer-Verlag, 252 S.
- Moore, J. W., Ramamoorthy S., Ballantyne E. E., 1984, Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. New York, Springer-Verlag, 268 S.
- Neukirchen, F., 2016, Von der Kupfersteinzeit zu den Seltenen Erden: Eine kurze Geschichte der Metalle. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 167 S.
- Olesik, J. W., 1991, Elemental Analysis Using: An Evaluation and Assessment of Remaining Problems. *Analytical Chemistry*, 63 (1): 12-21.
- Plum, L. M., Rink, L., Haase, H., 2010, The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. *Int J Environ Res Public Health*, 7(4): 1342–1365.
- Riedel, R., 2010, Allgemeine und anorganische Chemie. Berlin, New York, De Gruyter, 452 S.
- Risco, T. A., Budiawan, Auerkari, E. I., 2017, Effects of Chromium on Human Body. *Annual Research & Review in Biology*, 13 (2): 1-8.
- Sebastian, U., 2013, Die Geologie des Erzgebirges. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 268 S.
- Sunda, W., 1975, The relationship between cupric ion activity and the toxicity of copper to phytoplankton [Ph.D. thesis]: Massachusetts Institute of Technology, Woods Hole Oceanographic Institution, 167 S.

- Vallee, B. L., Falchuk, K. H., 1993, The biochemical basis of zinc physiology. *Physiol Rev.*, 73(1): 79-118.
- WHO - World Health Organization, 2004, Copper in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/03.04/88.
- Wittenberger, W., 1973, *Chemische Laboratoriumstechnik*. Wien, New York, Springer, 7. Auflage, S. 161.

11 Anhangsverzeichnis

Anhang A: GPS-Daten der Probenpunkte der Flussaue und der Flusssedimente.

Anhang B: ICP-OES Messwerte der Schwermetallgehalte.

Anhang C: Messwerte der Wasseranalyse.

Anhang A

GPS-Daten der Probenpunkte der Flussaue.

	GPS N	GPS E
I 1	051° 03,914	013° 14,748
I 2	051° 03,922	013° 14,775
I 3	051° 03,910	013° 14,789
I 4	051° 03,913	013° 14,801
I 5	051° 03,910	013° 14,815
I 6	051° 03,911	013° 14,836
I 7	051° 03,910	013° 14,850
II 6	051° 03,902	013° 14,834
II 7	051° 03,904	013° 14,854

GPS-Daten der Probenpunkte der Flusssedimente.

Mulda	50°47,765	013°27,180
Lichtenberg	50°51,072	013°24,074
Talweg	50°55,596	013°22,684
Rathsmühle	50°56,654	013°21,950
Münzbach	50°57,510	013°19,818
Mulde	50°57,512	013°19,868
Bevensmühle	51°2,186	013°18,989
Gleisberg	51°3,871	13°14,643

Anhang B

Messwerte der Schwermetallgehalte mittels ICP-OES, alle Angaben in ppm.

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Probenkennung						
Gleisberg	53	42	245	45	1083	3469
Mulda	4,1	32	184	32	76	392
Lichtenberg	6,6	31	45	29	120	400
Talweg	46	30	504	32	2305	4900
Rathsmühle	101	29	916	31	4266	11007
Münzbach	35	47	572	26	7084	4941
Mulde	56	27	788	28	4008	6517
Bevensmühle	41	43	235	39	1126	3072
I7-70-50	12	38	222	26	1645	1362
I7-50-30	14	40	249	26	1779	1586
I7-30-10	13	41	240	26	1590	1439
II4-75-50	9	49	175	24	1524	1038
II4-50-30	10	50	188	26	1635	1116
II4-30-10	11	61	214	25	1632	1270
II7-70-50	8,9	66	186	25	1518	1075
II7-50-30	12	78	201	24	1664	1207
II7-30-10	14	74	310	26	1683	1407
I3-10-30	14	41	247	27	1764	1485
I4-10-30	16	47	281	28	1924	1554
II6-10-30	15	65	250	26	1814	1401
I6-10-30	12	44	243	27	1689	1443
II5-10-30	13	51	264	26	1573	1394
I5-10-30	13	40	208	26	1471	1304

Anhang C

Messwerte der Wasseranalyse

	T in °C	pH	elektr. Leitfähigkeit in uS/cm
Mulda	12,3	7,39	189
Lichtenberg	13,5	7,31	204
Talweg	16,1	7,6	485
Rathsmühle	16,5	7,65	485
Münzbach / Mulde	19,7 / 19	8,36 / 8,19	1056 / 501
Bevensmühle	18,4	8,07	631
Gleisberg	20,8	7,56	628