

## Anhang B2: Vergleich der sequentiellen Extraktion mit und ohne Schütteln

### Hintergrund

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Elisabeth Stöckler wurde eine sequentielle Extraktion an 15 Torfproben aus dem Schlöppnerbrunnen und dem Greifenbachstauweiher durchgeführt (Stöckler 2009). Die Differenz zwischen As und Fe, welches mit den verschiedenen Extraktionsschritten gelöst wurde, und dem Gesamtgehalt der Proben war zum Teil recht groß. Wenn diese Differenz durch ein ungenügendes Auflösen der Proben in den verschiedenen Extraktionsschritten verursacht wäre, dann hätte man das entsprechende As in der aufgeschlossenen Residualfraktion wiederfinden müssen, was aber nicht der Fall war. Bei nachträglichen Berechnungen zeigten sich z.T. große Differenzen zwischen den originalen As- und Fe-Gehalten in den Proben und denen der Summe aller Fraktionen der sequentiellen Extraktion, einschließlich der Residualfraktion. Sie betrugen bis zu 50%, im Ausnahmefall der Probe GB5 sogar bis zu 90% (Abbildung B2 1).

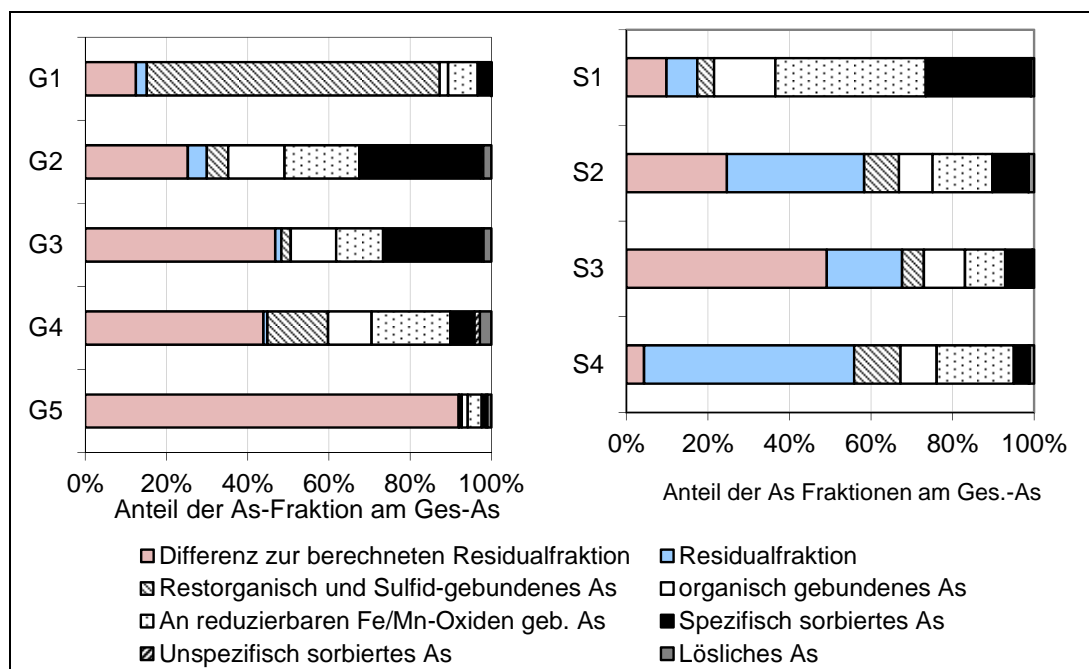


Abbildung B2 1: Differenzen der berechneten Residualfraktion und der tatsächlich ermittelten Residualfraktion bei der sequentiellen Extraktion am Beispiel von 5 Niedermoorproben aus dem Greifenbachstauweiher und vier Niedermoorproben aus dem Schlöppnerbrunnen (verwendete Daten aus Stöckler 2009)

Als mögliche Ursachen für die großen Differenzen kommen zwei methodische Faktoren in Frage:

1. Während der Gefriertrocknung kann es zum Verlust von Torfmaterial gekommen sein, was zu einer falschen Berechnung der Residualfraktion führen würde. Dieser Verlust kann entstehen, wenn die Gefriertrocknungsanlage undicht ist, z.B. durch entstehende Risse in den Rundkolben, und dann Probenmaterial aus den Kolben in die Anlage gesaugt wird.

2. Die Bindung von As und Fe in Form von Kolloiden, welche durch das Schütteln der Proben erzeugt werden. Es ist nicht auszuschließen, dass besonders in den minerotrophen Proben die enthaltenen Sedimentpartikel während des Schüttelns zum Zerrieb des organischen Materials führten. Im Vorversuch B1 wurde bereits gezeigt, dass As an Kolloide gebunden werden kann.

### **Ziel**

Das Schütteln der Proben-Lösungs-Gemische während der sequentiellen Extraktion hat die Funktion, das Extraktionsmedium und die Probe vollständig miteinander in Kontakt zu bringen. Es sollte ermittelt werden, ob die Extraktionsergebnisse sich verschlechtern, wenn die Proben ohne Schütteln, dafür aber über längere Zeit extrahiert werden. Außerdem sollte das Trocknen der Proben nicht mehr mittels Gefriertrocknung sondern im Ofen bei 60°C erfolgen, um Materialverluste zu vermeiden.

Zusätzlich sollte geprüft werden, ob die Extrakte, welche mittels sequentieller Extraktion ohne Schütteln hergestellt wurden, als gefilterte Lösungen gleiche Konzentrationen an As, Fe sowie Al aufweisen wie ungefilterte Proben, oder ob trotz der geänderten Methode größere Mengen As durch Kolloidbildung auf den Filtern zurückgehalten werden.

### **Methode**

Bei den drei Proben GB2, GB3 und GB5, welche auch in der oben genannte Bachelorarbeit verwendet wurden, wurde die sequentielle Extraktion noch einmal ohne dauerhaftes Schütteln, dafür aber mit längeren Extraktionszeiten durchgeführt und mit den Ergebnissen der sequentiellen Extraktion mit Schütteln an denselben Proben verglichen.

Daraus ergaben sich zwei Versuchsvarianten der sequentiellen Extraktion: Variante 1, bei welcher die Proben während der Extraktion im Überkopfschüttler bei 15 Umdrehungen pro Minute geschüttelt wurden (Stöckler 2009) und Variante 2, bei welcher die Proben nur nach der Zugabe des Extraktes und am Ende der Extraktionszeit aufgeschüttelt wurden (siehe Tabelle B2 1). Die Extraktionsmittel waren in beiden Varianten gleich. Der Ablauf der Extraktion in Variante 2 ist Tabelle B2 2 zu entnehmen.

Tabelle B2 1: Unterschiede der Versuchsvarianten der sequentiellen Extraktion mit und ohne dauerhaftes Schütteln.

	Variante 1 Sequentielle Extraktion mit Schütteln	Variante 2 Sequentielle Extraktion ohne Schütteln
Schütteln der Proben	im Überkopfschüttler bei 15 min <sup>-1</sup>	manuelles Aufschütteln nach Zugabe des Extraktes und am Ende der Extraktionszeit
Einwaage der Proben (entspr. Trockengewicht)	10 g	1,5 g
Extraktionszeiten	siehe Stöckler 2009	siehe Tabelle B2 2
Trocknen der Proben	Gefriertrocknung	im Ofen bei 60°C

Die Einwaage der Proben für Versuchsvariante 1 entsprach 10 g Trockengewicht, für Versuch 2 entsprach sie 1,5 g Trockengewicht (Tabelle B2 1). Das Boden-Lösungs-Verhältnis war für beide Durchführungen gleich (Tabelle B2 2).

Tabelle B2 2: Ablauf der sequentielle Extraktion ohne Dauerschütteln.

Schritt	Zielfraktion/ (Wiederholungen)	Extraktionsschritt	Extraktions- dauer	Boden- Lösungs- Verhältnis	Waschschritte mit H <sub>2</sub> O
1	Lösliches As	Wasser	22h	1: 30	-
2	Unspezifisch sorbiertes As	0,05 M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22h	1: 30	-
3	Spezifisch sorbiertes As	0,05 M NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	22h	1: 30	20 ml 15 min
4	As an reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen	0.2 M NH <sub>2</sub> OH·HCl in 25% (v/v) Essigsäure (96°C)	12h	1: 30	20 ml 15 min
5	Organisch gebundenes As/ (2x)	0,1 M Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (22°C)	22h	1: 30	20 ml 15 min
6	Restorganische und Sulfid-gebundene As- Fraktion	0.02 M HNO <sub>3</sub> (9 ml )  Zugabe von 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (15 ml) und Oxidation 85°C.  Extraktion durch 1 M NH <sub>4</sub> OAc in 6% HNO <sub>3</sub> (22,5 ml)	2h  3h  30 min	(1+30) 1:31	20 ml 15 min
7	Residualfraktion	Einwaage 100 mg 5 ml HNO <sub>3</sub> + 0,25 ml HCl 170°C (7 min) 180°C (7 min) 195°C (15-20 min)	-		

Nach jedem Extraktionsschritt wurden die Proben bei 11300 g in einer Beckmann Zentrifuge (J2-21) zentrifugiert und mit Spritzen entnommen.

Vor dem Filtrieren der Proben wurden die Polypropylenfilter (0,45 µm) mit 2 ml 6%ige Salpetersäure, mindestens 5 ml destilliertem Wasser und ca. 5 ml Bodenextrakt vorgespült. Anschließend wurden 15 ml der Filtrate der Schritte 1-3 und 5 mit 50 µl 65%iger HNO<sub>3</sub> angesäuert.

Nach dem letzten Extraktionsschritt wurden die Proben getrocknet. Die Trocknung erfolgte beim Versuchsvariante 1 mittels Gefriertrocknung, bei Versuch 2 in einem Trockenschrank, um Probeverluste zu vermeiden. Die getrockneten Proben wurden zu Ermittlung der Residualfraktion gemahlen und anschließend in der Chemischen Analytik (BayCEER, Uni Bayreuth) aufgeschlossen und analysiert.

Da die As-, Fe- und Al-Konzentrationen in den Residualfraktionen durch Neu-Einwaage des verbliebenen Torfmaterials ermittelt wurden, mussten diese auf die Original-einwaagen der Proben zurückgerechnet

werden, um eine Überschätzung der Konzentrationen von As, Fe und Al in der residualen Phase zu vermeiden. Dazu wurden aus den mittels Aufschluss ermittelten Konzentrationen von As, Fe und Al mit der Masse des verbliebenen Torfes absolute Mengen an As, Al und Fe berechnet und diese auf die ursprüngliche Masse der Proben bezogen.

Zusätzlich zu den gefilterten Torfextrakten wurde ein Teil der ungefilterten Lösungsproben aus Versuchsvariante 2 mittels UV-Aufschluss aufgeschlossen und analysiert um zu überprüfen, ob es beim Filtern einen As-Verlust durch Kolloide gab. Die Lösungskonzentrationen von As, Fe und Al wurden anschließend mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, mit dem Programm Sigma Plot 11, verglichen um festzustellen, ob die Differenz der Konzentrationen signifikant ist, also das Filtern der Proben eine signifikante Auswirkung hat. Es wurde für diesen Vergleich kein gepaarter T-Test verwendet, da die Daten nicht normalverteilt waren.

## Ergebnisse

Beim Vergleich der extrahierten As-Mengen in den beiden Versuchsvarianten zeigte sich, dass mit Variante 1 60-89 mg/kg und mit Variante 2 83-714 mg/kg As aus den Proben gelöst wurden. In Variante 2 wurde insgesamt mehr As mit den verschiedenen Lösungen extrahiert. Fast 10fache Unterschiede traten dabei in Probe GB5 auf.

Die lösliches As-Fraktion (Wasser) und die unspezifisch sorbierte As-Fraktion ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) nehmen in beiden Versuchsvarianten nur geringe Anteile, bezogen auf das As in allen Fraktionen, ein. Es wurden zwischen 3 und 16% As in Variante 1 und zwischen 3 und 6% in Variante 2 gelöst. Probe GB5 wies die größten Unterschiede bezüglich der verschiedenen Versuchsvarianten auf. Die Proben GB2 und GB3 wiesen für beide Behandlungen übereinstimmende Ergebnisse auf.

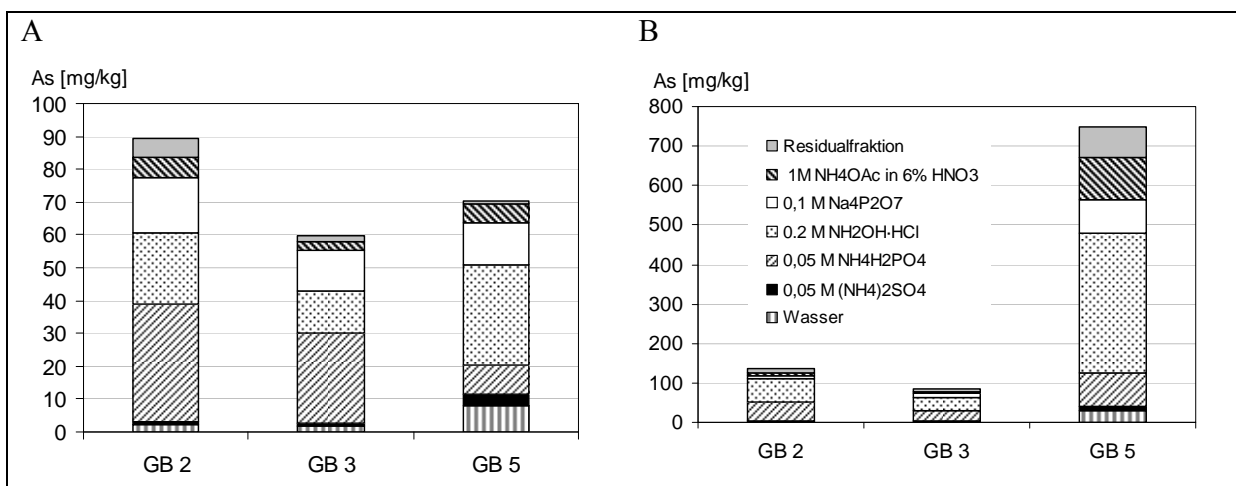


Abbildung B2 2: As-Gehalte in den verschiedenen Fraktionen der sequentiellen Extraktion, Vergleich zweier Varianten der sequentielle Extraktion A) mit Überkopfschüttler und B) ohne dauerhaftes Schütteln, aber mit längeren Extraktionszeiten (man beachte die verschiedenen Y-Skalierungen).

Mit den folgenden drei Extraktionsschritten (spezifisch sorbiertes As, As an reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen, organisch gebundenes As) wurde der größte As-Anteil aus den Torfproben entfernt (Variante 1: 74-88%, Variante 2: 73-88%). Dabei waren die As-Gehalte der As-Fraktion an reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen in Variante 2 deutlich höher als in Variante 1 (Abbildung B2 2). Die As-Gehalte in der folgenden organisch gebundenes As-Fraktion in waren allerdings in Variante 1 in den Proben GB2 und GB3 höher (Abbildung B2 2). In der restorganisch und Sulfid-gebundene As-Fraktion wurden zwischen 4% und 8% bei Variante 1 und zwischen 4% und 15% bei Variante 2 wieder gefunden. Die Auswaagen der gefriergetrockneten Proben, insbesondere Probe GB5, wiesen einen deutlich geringeren Masseanteil der Einwaagen auf als die im Ofen getrockneten Proben der Variante 2 (Tabelle B2 3).

Tabelle B2 3: Gewicht und entsprechender Masseanteil der Einwaagen in den residualen Torfproben nach der sequentiellen Extraktion.

	Seq. Extraktion mit Schütteln (Variante 1)		Seq. Extraktion ohne Schütteln (Variante 2)	
	Gewicht Torf nach s.E.	Masseanteil	Gewicht Torf nach s.E.	Masseanteil
	[g]	[%]	[g]	[%]
GB2	3,7	37	0,8	54
GB3	3,3	33	1,1	69
GB5	0,5	5	0,9	56

Der As-Gehalt in der Residualfraktion war bei der Variante 1 in Probe GB5 deutlich niedriger als in Variante 2 (Tabelle B2 4). Bezieht man die Torfauswaage nach der sequentiellen Extraktion in die Berechnung der sequentiellen Extraktion ein, so verstärkt sich diese Differenz noch. Die Residualfraktionen nahmen bei Versuchsvariante 1 einen Anteil von 2-6%, bei Variante 2 von 5-6% des gesamten extrahierten As ein.

Tabelle B2 4: As-, Fe- und Al-Konzentration in den residualen Torfproben nach der sequentiellen Extraktion.

	Seq. Extraktion mit Schütteln (Variante 1)			Seq. Extraktion ohne Schütteln (Variante 2)		
	As-Konz.	Fe-Konz.	Al-Konz.	As-Konz.	Fe-Konz.	Al-Konz.
	[mg/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[mg/kg]	[g/kg]	[g/kg]
Konzentration in Residualfraktion						
GB2	15	24	7	13	16	5
GB3	5	5	2	7	9	2
GB5	21	4	1	75	5	1
Bezogen auf verbliebene Torfmasse der Residualfraktion						
GB2	6	8,8	2,6	7	8,4	2,7
GB3	2	1,7	0,8	5	5,9	1,6
GB5	1	0,2	0,1	42	2,7	0,7

Auch die ermittelten Gehalte an Fe und Al waren bei Extraktionsvariante 2 größer als in Variante 1. Die Summe der Gehalte an Fe in allen Fraktionen lag bei Variante 1 im Bereich von 0,4-5 g/kg, in Variante 2 im Bereich von 2-7 g/kg (Abbildung B2 3). Der größte Teil des extrahierten Fe wurde in Variante 2 mit der Fraktion der reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen (0.2 M  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) gelöst, in Variante 1 nur

in den Proben GB2 und GB3. In Probe GB5 wurde in Variante 1 der größte Anteil des Fe mit der restorganisch und Sulfid-gebundenen Fraktion (1 M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  in 6%  $\text{HNO}_3$ ) gelöst (Abbildung B2 3).

Die Fe-Konzentration in den Residualfraktionen lag in Probe GB2 bei der Variante mit Schütteln deutlich höher als in der Variante ohne Schütteln (Tabelle B2 4), in den Proben GB3 und GB5 waren sie in der Variante ohne Schütteln größer (Tabelle B2 4). Die Unterschiede in Probe GB3 und GB5 verstärkten sich noch bei Einbezug der Torfmassen der Residualfraktionen, da die Auswaagen in Variante 1 deutlich niedriger waren (Tabelle B2 3 und B2 4).

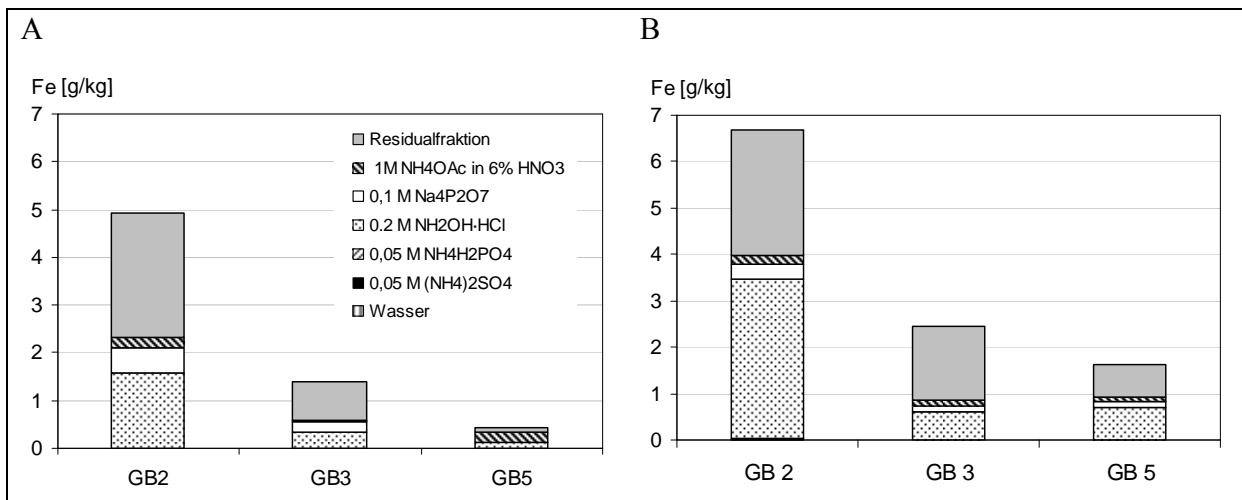


Abbildung B2 3: Fe-Gehalte in den verschiedenen Fraktionen der sequentiellen Extraktion, Vergleich zweier Varianten der sequentielle Extraktion A) mit Überkopfschüttler und B) ohne dauerhaftes Schütteln, aber mit längeren Extraktionszeiten.

Die Gesamt-Gehalte für Al betrugen für Variante 1 3-20 g/kg und für Variante 2 11-20 g/kg.

Die ermittelte Gesamt-Al-Menge in Probe GB2 war für beide Versuchsbedingungen gleich, für GB3 und GB5 liegen sie bei der Version ohne Schütteln über derjenigen der Version 1 (Abbildung B2 4).

Der größte extrahierte Anteil Al wurde in den Proben GB2 und GB3 bei Variante 1 in der organisch gebundenen Fraktion (0,1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) wieder gefunden, für Probe GB5 in der Fraktion der reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen (0,2 M  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ). Bei der Methode ohne Schütteln wurde in allen Proben der größte Anteil des Al mit der Fraktion der reduzierbaren Fe- und Mn-Verbindungen gelöst (Abbildung B2 4).

Die in der Residualfraktion ermittelten Al-Konzentrationen waren bei beiden Behandlungen weitgehend gleich (Tabelle B2 4), Unterschiede in der Größe dieser Fraktionen entstanden erst bei Einbezug der verbliebenen Torfmassen (Tabelle B2 4).

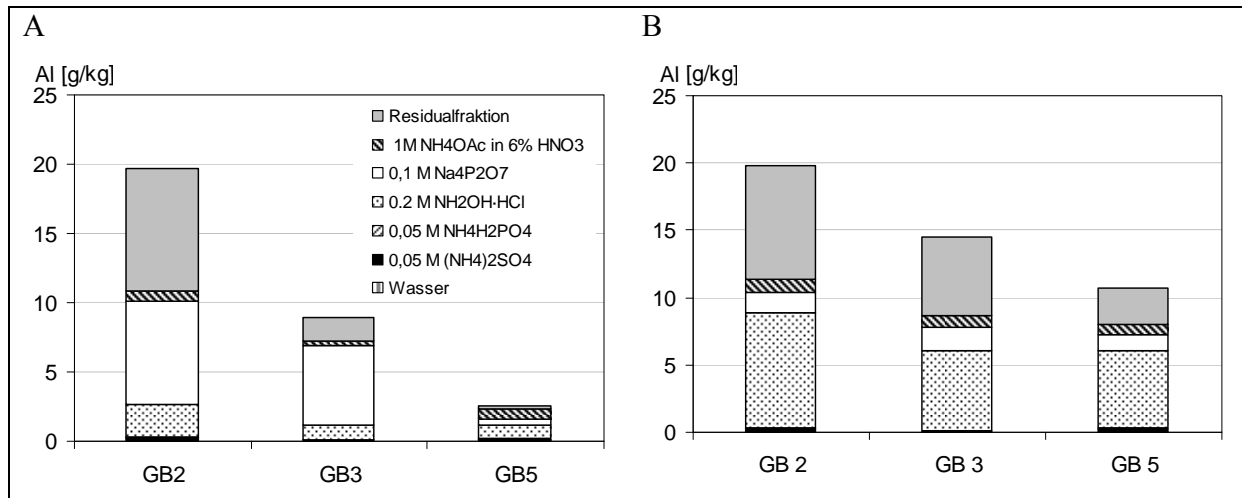


Abbildung B2 4: Al-Gehalte in den verschiedenen Fraktionen der sequentiellen Extraktion, Vergleich zweier Varianten der sequentielle Extraktion A) mit Überkopfschüttler und B) ohne dauerhaftes Schütteln, aber mit längeren Extraktionszeiten .

Der Vergleich von den As- Lösungskonzentrationen der gefilterten und ungefilterten Proben der Variante 2 (Tabelle B2 5) mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test kann für das Element As keine signifikante Wirkung des Filterns auf die gemessenen As-Konzentrationen in der Lösung erbringen ( $P = 0,764$ ). Für Fe ( $P = 0,027$ ) und für Al ( $P = 0,022$ ) gibt es allerdings einen statistisch signifikanten Unterschied der Konzentrationen in den gefilterten und ungefilterten Lösungen.

Tabelle B2 5: Vergleich der Konzentrationen von As, Fe und Al in den Bodenextrakten, mit und ohne Filtern der Lösungen

Lösungsmittel	GB 2		GB 3		GB 5	
	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
<b>As [<math>\mu\text{g/l}</math>]</b>						
Wasser	65	74	55	50	832	1020
0,05 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	61	40	35	21	491	396
0,05 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1427	1550	891	986	2893	2750
0,2 M $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$	1880	2010	1045	1130	12413	12000
0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	153	162	143	150	1347	1430
1M $\text{NH}_4\text{OAc}$ in 6% $\text{HNO}_3$	196	179	135	174	4120	3520
<b>Fe [<math>\text{mg/l}</math>]</b>						
Wasser	0,3	0,1	0,3	< 0,05	0,2	< 0,05
0,05 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2,1	0,9	0,3	< 0,05	0,2	< 0,05
0,05 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,3	0,3	1,0	0,1	0,4	0,1
0,2 M $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$	106	115	18	20	24	24
0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	5,2	5,1	2,2	2,3	2,0	2,0
1M $\text{NH}_4\text{OAc}$ in 6% $\text{HNO}_3$	6,9	6,0	9,3	3,9	3,4	2,5
<b>Al [<math>\text{mg/l}</math>]</b>						
Wasser	0,7	0,4	1,9	0,3	1,5	0,6
0,05 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	10,3	7,3	3,9	1,9	8,9	7,9
0,05 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	2,0	2,0	7,3	1,7	4,2	2,2
0,2 M $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$	256	285	172	202	200	195
0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	52	52	57	59	38	38
1M $\text{NH}_4\text{OAc}$ in 6% $\text{HNO}_3$	38	31	53	28	39	27

## **Diskussion**

Die Ergebnisse der Sequentielle Extraktion der beiden Versuchsvarianten, mit und ohne Schütteln, unterschieden sich zum Teil sehr markant. Zwei wesentliche Faktoren wurden deutlich:

Bei Probe GB5 wurde ein fast zehnfacher Unterschied der As-Gesamtmenge zwischen den beiden Versuchsvarianten ermittelt. Diese Differenzen betreffen sowohl die As-Konzentrationen in den Extrakten als auch in der residualen Fraktion und sind zu groß, als dass sie allein auf die unterschiedlichen Methoden zurückzuführen wären

Die ermittelte As-Gesamt-Konzentration aller Fraktionen nach Versuchsvariante 2 entspricht dem zuvor ermittelten Gesamtgehalt der Probe, die der Variante 1 weicht stark davon ab. Daher ist davon auszugehen, dass die Unterschiede entweder durch eine große Inhomogenität der originalen Probe, also großen Unterschieden in den Teilproben, entstanden sind oder die Probe beim Versuch der sequentiellen Extraktion mit Schütteln sogar vertauscht wurde. In jedem Fall sind die Ergebnisse der beiden Versuchsvarianten nicht direkt vergleichbar.

Große Unterschiede zeigten sich auch bei den Gewichtsanteilen der Residualfraktion (Tabelle B2 4). Da es bei der in Variante 1 verwendeten Gefriertrocknung bekannterweise immer wieder zu Materialverlusten kam, ist nicht auszuschließen, dass es zum Verlust von Torf kam und so zu geringe Massen ausgewogen wurden. Solche Verluste bei der Gefriertrocknung würden zur Verfälschung der Gesamtmenge des extrahierten As führen.

Die beiden genannten Faktoren führen dazu, dass nur Probe GB2 und GB3 bezüglich der verschiedenen Methoden verglichen werden können. Zwei Proben sind zu wenig für eine allgemeine Aussage über die Wirkung der verschiedenen Methoden. Es kann aber zumindest aufgezeigt werden wie sich die methodischen Unterschiede auf die Proben aus dem Greifenbachstauweiher auswirken.

Bei den As-Konzentrationen in den Lösungeextrakten wurden mit voranschreitendem Extraktionsprozess die Unterschiede zwischen der Methoden mit Schütteln und ohne Schütteln sehr deutlich. Nachdem die extrahierten Mengen As in der wässrigen Phase noch gleich waren, treten in den folgenden Fraktionen größere Unterschiede auf. Insgesamt wurde in der Summe der Bodenextrakte bei der Variante mit Schütteln geringere As-Konzentrationen nachgewiesen. Ursächlich könnten zum einen Differenzen der As-Konzentrationen in den verschiedenen Teilproben sein oder zum anderen eine ungenügende Erfassung des gelösten As bei Variante 1, wenn es teilweise an Kolloiden gebunden vorlag. Bei der sequentiellen Extraktion ohne Schütteln wurden außerdem in Summe mehr Fe und Al in den Extrakten gefunden als bei der Variante mit Schütteln.

Fe und Al scheinen dabei auch ohne den Einfluss des Schütteln in kolloidaler Form in den Extrakten vorzuliegen. Das lässt sich aus den ermittelten Unterschieden der gefilterten und ungefilterten Proben schließen. Die Kolloidbildung von Fe und Al in Bodenlösungen wurde bereits von anderen Autoren dokumentiert (Pokrovsky et al. 2005). Dabei wurde auch beschrieben, dass As an diesen Kolloiden nur



geringfügig sorbiert wird. Die Wiederfindungsraten von Fe und Al könnten also auch bei einer sequentiellen Extraktion ohne Schütteln beeinflusst sein. As hingegen sollte von der Kolloidbildung wenig oder nicht beeinflusst sein. Daher kann man davon ausgehen, dass eine mögliche Kolloidbildung in den Torfextrakten keinen Einfluss auf die gemessenen Mengen von As hat. Für die Variante 1 wurde der Unterschied von ungefilterten zu gefilterten Proben nicht getestet, es ist aber davon auszugehen, dass das dauerhafte Schütteln und der damit einhergehende Zerrieb zu einer vermehrten Kolloidbildung führen.

### **Fazit**

Der vorliegende Versuch kann keine eindeutigen Ergebnisse bezüglich einer erhöhten Kolloidbildung durch Schütteln der Proben vorweisen. Es lässt sich aber für die untersuchten Proben klar zeigen, dass die Versuchsvariante ohne Schütteln, aber mit längeren Extraktionszeiten, nicht zu einem verminderten Nachweis von As in den Extrakten führt. Der Verzicht auf das Schütteln bei der sequentiellen Extraktion sollte also zu keiner Verringerung der extrahierbaren As-Mengen führen.

Außerdem zeigte sich, dass Al und Fe in den Bodenextrakten Kolloide bilden und daher möglicherweise nicht vollständig erfasst werden.

Auch wurde deutlich, dass die Gefahr des Probenverlustes bei der Gefriertrocknung besteht. Daher ist es besser, die Proben nach der sequentiellen Extraktion mit einer verlustfreien Methode zu trocknen, in diesem Fall in einem Ofen oder Trockenschrank bei 60°C.

### **Literatur**

- Pokrovsky, O.S., B. Dupré & J. Schott. 2005. Fe-Al-organic colloids control of trace elements in peat soil solutions: results of ultrafiltration and dialysis. *Aquatic Geochemistry* 11:241-278.
- Stöckler, E. 2009. Sequentielle Extraktion von Moorböden zur Identifikation von As-Bindungen. Bachelorarbeit, Universität Bayreuth, Bayreuth.