

Untersuchungen von Bodenproben aus verschiedenen Friedwaldstandorten

Bericht

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Brsg.
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Professur für Bodenökologie

Autoren:

Prof. Dr. Friederike Lang

Dipl.-Ing. Markus Graf



Freiburg im Breisgau, Juli 2015

Inhalt

Einleitung.....	- 3 -
Material und Methoden.....	- 5 -
Standorte.....	- 5 -
Probenahme.....	- 5 -
Probenaufbereitung.....	- 9 -
Bestimmung Boden pH.....	- 9 -
Bestimmung mittels HNO ₃ -Druckaufschluss extrahierbarer Elemente.....	- 9 -
Ergebnisse.....	- 10 -
Boden pH.....	- 10 -
Elementgehalte im HNO ₃ -Druckaufschluss.....	- 11 -
Diskussion.....	- 16 -
Frage 1: Anstieg des Boden pH durch Verbringung von Kremationsasche?.....	- 16 -
Frage 2: Erhöhte Gehalte an (Schwer-)Metallen in Böden unterhalb der Urnenstellen?.....	- 16 -
Frage 3: Höhere Schwermetallgehalte im Oberboden aus dem Kronenbereich von Grabbäumen? ..	- 18 -
Schlussfolgerungen.....	- 19 -
Literatur.....	- 20 -

Einleitung

Alternativen zur Bestattung sterblicher Überreste verstorbener Menschen auf Friedhöfen werden seit einigen Jahren vermehrt nachgefragt. Eine dieser Alternativen ist die Bestattung von Kremationsaschen im Wurzelraum von Bäumen in entsprechend ausgewiesenen Wäldern. Diese Form der Bestattung wird seit einiger Zeit in Teilen der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Hierbei stehen meist Inhaltsstoffe der Kremationsasche sowie die ökologischen Folgen durch ihre Verbringung in das Waldökosystem im Fokus der Debatte. Dabei wird oft insbesondere auf in der Asche enthaltene Schwermetalle verwiesen, die der kremierte Mensch zu Lebzeiten aufgenommen und im Körpergewebe eingelagert hat. Diese werden während des Kremationsprozesses nicht verändert oder ausgetragen sondern verbleiben nach der Kremierung in der Kremationsasche. Zusätzlich ist ein Eintrag von weiteren Schwermetallen während des Kremationsvorganges insbesondere aus dem Auskleidungsmaterial der Kremationsöfen möglich. Neben etwaiger Schwermetallgehalte weist Kremationsasche einen stark basischen pH-Wert auf, der bei der Verbringung in den Waldboden möglicherweise Veränderungen der Bodenreaktionen aber auch in der Zusammensetzung der Bodenfauna zur Folge haben kann.

Es ist aus den oben genannten Gründen naheliegend, dass Kremationsaschen Schwermetalle enthalten, eine fundierte analytische Beurteilung der Kremationsaschen ist jedoch schwierig. Dies hat insbesondere rechtliche Gründe, denn als Untersuchungsgegenstand unterliegt Kremationsasche als sterblicher Überrest eines Menschen besonderen rechtlichen Bedingungen. Dies betrifft auch die destruktive chemische Analyse, so dass diese nicht oder nur unter besonderen Bedingungen durchgeführt werden darf. Die verfügbare Datengrundlage ist dementsprechend für eine abschließende Bewertung nicht zufriedenstellend. Dies betrifft weniger die Frage, ob eine gewisse Menge an Schwermetallen in der Kremationsasche enthalten ist, sondern insbesondere die Quantität und die Streuung der Konzentrationen der in der Kremationsasche enthaltenen Schwermetalle. Eine hohe Streuung der Konzentrationen wird auch von den wenigen verfügbaren Studien zu Schwermetallgehalten von Kremationsaschen aus dem Ausland bestätigt. Insbesondere der Wohnort der Verstorbenen, deren Lebenswandel und Ernährungsgewohnheiten aber auch die verwendete Technik des Kremationsprozesses haben einen großen Einfluss auf die Schwermetallgehalte der Kremationsaschen.

Gegenstand dieser Studie ist es daher nicht, die Kremationsasche direkt auf ihre Schwermetallgehalte zu untersuchen. In dieser Studie soll überprüft werden, ob in Böden unterhalb von Bestattungsplätzen in bestehenden Ruhewäldern erhöhte Schwermetallgehalte zu finden sind und ob diese auf die verbrachten Kremationsaschen zurückgeführt werden können. Ebenfalls soll durch Untersuchung von Oberböden aus dem Kronenbereich von zur Bestattung genutzten Bäumen festgestellt werden, ob etwaige Schwermetalleinträge in den Wurzelraum bereits zu einer Aufnahme durch die Bäume, einer damit verbundenen Anreicherung in der Streu und damit auch im Oberböden geführt hat.

Eine Untersuchung der Böden unterhalb der Bestattungsstelle ermöglicht zusätzlich eine bessere Beurteilung des ökologischen Risikos, in dem direkt eine mögliche Verlagerung von Schwermetallen erfasst wird. Eine Beurteilung des ökologischen Risikos, insbesondere auch mit Hinblick auf den an diesen Standorten einzig möglichen Transferpfad Boden-Grundwasser, ist nur möglich, wenn auch die Filter- und Pufferfunktionen der Böden bzgl. eines möglichen Schwermetalleintrages mit bestimmt werden. Die Betrachtung etwaiger Schwermetallgehalte in Kremationsasche allein gäbe keine Auskunft über die Verlagerungswahrscheinlichkeit, da diese von den Eigenschaften des Bodens (Sorptionskapazitäten, hydraulische Parameter) aber auch von externen Faktoren (Niederschlagsmenge und -intensität) maßgeblich bestimmt werden.

Die im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen zu bearbeitenden Fragestellungen lauten somit:

- Frage 1: Bewirkt der stark basische pH Wert der Kremationsasche einen Anstieg des Boden pH in den Böden unterhalb der Urnenstelle im Vergleich zu Referenzproben außerhalb des Einflussbereiches einer Urnenstelle?
- Frage 2: Können in Böden unterhalb von Urnenstellen im Wurzelraum von Bäumen im Vergleich zu entsprechenden Referenzböden außerhalb des Einflussbereiches der Urnenstelle erhöhte Gehalte an Schwermetallen (Zn, Cr und Ni) und anderer Elemente aus Inhaltstoffen der Kremationsasche (Al, K und Fe) festgestellt werden?
- Frage 3: Weisen Oberböden im Kronenbereich von Bäumen, in deren Wurzelraum Kremationsasche bestattet wurde, im Vergleich zu Oberböden aus dem Kronenbereich von nicht zur Bestattung genutzten Bäumen höhere Schwermetallgehalte auf?

Diese Studie wurde im Auftrag der Friedwald GmbH durchgeführt. Die Strategie zur Probennahme wurde von den Autoren der Studie eigenständig entwickelt. Die Proben wurden durch einen externen Probennehmer im Dezember 2014 entnommen. Extraktionen, Analysen und Auswertungen wurden von Mitarbeitern der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br. durchgeführt.

Bitte beachten sie, dass zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht alle geplanten Analysen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse werden in einer späteren Fassung ergänzt.

Material und Methoden

Standorte

Für die Untersuchungen wurden Bodenproben in drei verschiedenen von der Friedwald GmbH zur Bestattung genutzten Wäldern entnommen. Bei der Auswahl der der Wälder wurde insbesondere darauf geachtet, dass diese bereits seit einem möglichst langen Zeitraum als Ruhestätte genutzt werden.

Friedwald Saarbrücken

Der *Friedwald Saarbrücken* umfasst eine Fläche von ca. 19 ha und wurde im Januar 2005 eröffnet. Er befindet sich ca. 5 km nordwestlich der Stadt *Saarbrücken* in unmittelbarer Nähe zur Ortschaft *Von der Heyt*. Die Mischbestände setzen sich vorwiegend aus Ahorn, Buche, Eiche, Hainbuche, Lärche und Roteiche zusammen.

Reinhardswald

Die nordhessische *Reinhardswald* wird seit November 2001 für Bestattungen genutzt und umfasst eine Fläche von 116 ha. Diese befindet sich ca. 15 km nördlich von *Kassel*, die Mischbestände setzen sich aus Ahorn, Birke, Blutbuche, Eberesche, Eiche, Erle, Kastanie, Kiefer, Lärchen und Weiden zusammen.

Odenwald

Seit der Eröffnung im Juni 2002 wird die 70 ha große Waldfläche in *Michelstadt im Odenwald* für Bestattungen genutzt. Bestände von Ahorn, Birke, Buche, Douglasie, Eiche, Linde, Kiefer, Lärche und Tanne sind hier vorhanden. Der Waldfriedhof befindet sich ca. 25 km südöstlich von *Darmstadt*.

Probenahme

An jedem Standort wurden an insgesamt mind. vier zur Bestattung genutzte Bäumen („Grabbäume“) Bodenproben entnommen. Dabei wurden an jedem Grabbaum in der Regel drei Urnenstellen untersucht, an denen bereits eine Bestattung stattgefunden hat. Diese Urnenstellen sind entlang einer Kreises um den Baumstamm angeordnet, ihre Position ist dokumentiert. An jeder Urnenstelle wurden insgesamt vier verschiedene Bodenproben gemäß dem in Abbildung 1 dargestellten Schema entnommen. Hiermit wurde ein externer Standortkartierer (Franz Mettal, freiberuflicher Standortkartierer und Forstgutachter) beauftragt, der die Entnahme der Proben im Dezember 2014 selbstständig durchführte.

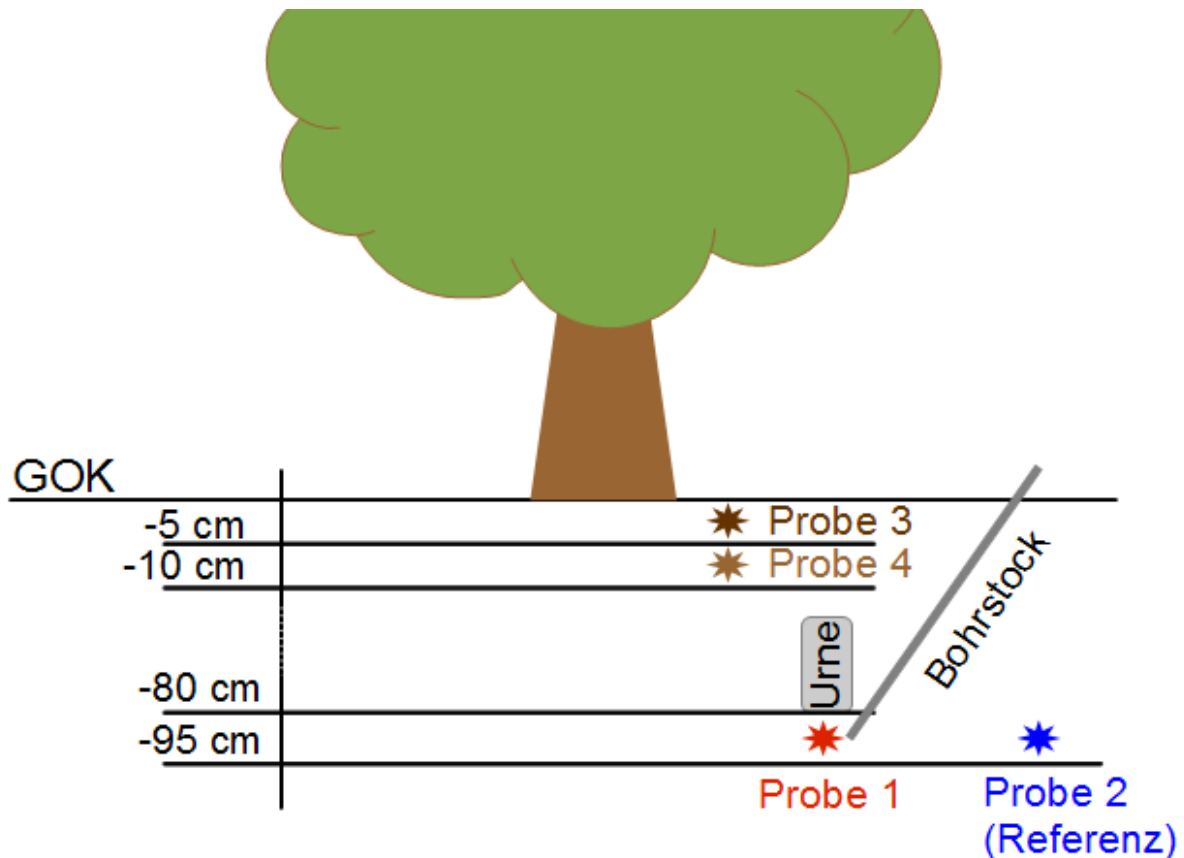


Abbildung 1: Schematische Darstellung für die Entnahme der Bodenproben an jeder Urnenstelle

Wie in der Abbildung ersichtlich wurden an jeder Urnenstelle insgesamt vier verschiedene Bodenproben entnommen:

- Probe 1 – Bodenprobe direkt unterhalb der Urne**

Die Urne wird bei der Bestattung in einer Tiefe von 80 cm uGOK abgelegt, die Position der Urne wird dokumentiert und ist mit einer Abweichung von <10 cm in jede Raumrichtung bekannt. Um die Urnenstelle bei der Entnahme nicht zu tangieren, wurde die Bodenprobe mittels eines im Winkel von 50° in 80 cm Entfernung zur Urnenstelle eingeschlagenen Bohrstocks (150 cm Länge) aus dem Bereich direkt unterhalb der Urne (ca. 95 cm uGOK) entnommen. Dieses Verfahren gewährleistet bestmöglich, dass tatsächlich der Bereich direkt unterhalb der Urne beprobt wird ohne dabei den Ablagebereich der Urne zu tangieren. Die Bodenprobe wird in einem Bereich entnommen, der mit großer Wahrscheinlichkeit von Sickerwasser durchströmt wird, welches vorher die Urne bzw. die Kremationsasche passiert hat.

Sollten Schwermetalle mit dem Sickerwasser aus der Asche ausgetragen werden, so wäre das Material dieser Probe 1 mit Schwermetallen angereichert.
- Probe 2 – Referenzprobe aus identischer Tiefe außerhalb des Einflussbereiches der Urne**

Die Referenzprobe dient der Bewertung der Schwermetallgehalte des aus dem Bereich direkt unterhalb der Urne entnommenen Bodenmaterials (Probe 1). Der Vergleich zu einer Referenzprobe ist notwendig, da Schwermetalle ubiquitär, also immer und überall, im Boden vorhanden sind. Es ist aus diesem Grund zu erwarten, dass der Boden aus Probe 1 in jedem Fall Schwermetalle enthält. Man spricht hier von geogenen Hintergrundgehalten, die insbesondere von den Schwermetallgehalten des Ausgangsgesteins, aus welchem sich der jeweilige Boden entwickelt hat, bestimmt werden. Zusätzlich ist aber an jedem Standort auch

ein anthropogener Eintrag an Schwermetallen aus der Zeit vor der Nutzung als Bestattungsstelle möglich bzw. wahrscheinlich (z.B. durch atmosphärische Deposition). Ob *zusätzlich* Schwermetalle aus der Kremationsasche in die Probe 1 eingetragen wurden kann nur beurteilt werden, wenn diese Gehalte mit den Gehalten einer Referenzprobe 2 außerhalb des Einflussbereiches der Urne verglichen werden. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass sich die geogenen Hintergrundgehalte (und etwaige anthropogene Einträge vor der Nutzung als Bestattungsstelle) der Referenzprobe 2 möglichst nicht von denen der Probe 1 unterscheiden. Um das sicherzustellen wurde an jeder Urnenstelle für jede Probe 1 eine eigene Referenzprobe 2 entnommen. Dieses Vorgehen wurde insbesondere deswegen gewählt, da Hintergrundgehalte teilweise kleinräumig variieren können. Durch die Zuordnung jeweils einer Referenzprobe 2 zu jeder Probe 1 kann der Einfluss dieser Variabilität auf die Ergebnisse (der Vergleich der Elementgehalte in Probe 1 mit Referenzprobe 2) minimiert werden. Die Referenzprobe 2 wurde mit einem senkrecht eingeschlagenen Bohrstock in ca. 1 m Entfernung aus der gleichen Tiefe (95 cm uGOK) wie Probe 1 entnommen. Der Abstand der Entnahmestellen von Probe 1 und Probe 2 beträgt max. 1 m, was eine Vergleichbarkeit bzgl. der Ausgangsgehalte weitestgehend gewährleistet.

- **Probe 3/4 – Oberboden (Probe 3: 0 – 5 cm uGOK; Probe 4: 5 – 10 cm uGOK) aus dem Kronenbereich des Grabbaumes**

Werden Schwermetalle in hohen Mengen in den Wurzelraum von Bäumen eingebracht, so kann eine Aufnahme dieser Schwermetalle durch das Wurzelsystem des Baumes erfolgen. Hierdurch würden sich die Schwermetallkonzentrationen in Blättern bzw. Nadeln und damit auch in der Laubstreu erhöhen. Erhöhte Schwermetallgehalte in der Laubstreu hätten letztendlich einen Eintrag von Schwermetallen in den Oberboden zur Folge, da nach der Zersetzung des Laubes die Schwermetalle wieder freigesetzt werden dann im Oberboden zu finden sind. Um dies zu überprüfen wurden die Proben 3 und 4 aus zwei verschiedenen Tiefen im Oberboden aus dem Kronenbereich der Grabbäume entnommen. Verglichen werden diese Proben aus dem Kronenbereich von Grabbäumen mit Proben aus dem Kronenbereich von Referenzbäumen an den gleichen Standorten, unter denen keine Bestattungen stattgefunden haben. An diesen Referenzbäumen können damit auch keine etwaigen zusätzlichen Schwermetallaufnahmen durch eingebrachte Kremationsasche vorliegen.

Eine Übersicht über die untersuchten Urnenstellen bzw. Urnenpositionen und Grabbäume an den drei Standorten *Urwald Saarbrücken*, *Odenwald* und *Reinhardswald* mit den jeweiligen Bestattungstagen der Urnen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht der beprobten Grabbäume und Urnenstellen inkl. Datum der Bestattung

	Baumnummer	Urnenposition	Bestattungsdatum
<i>Friedwald Saarbrücken</i>	17	1	21.07.2005
	17	7	13.10.2005
	103	1	08.03.2007
	103	4	20.04.2007
	103	7	26.04.2007
	116	1	26.02.2005
	116	4	03.03.2005
	116	7	18.03.2005
	173	1	07.09.2007
	173	4	31.08.2007
	173	7	07.09.2007
	<i>Odenwald</i>	10	3
10		6	06.05.2006
10		8	06.05.2006
113		1	16.02.2002
113		4	07.11.2002
113		7	23.07.2003
166		1	05.07.2002
166		4	14.08.2002
166		7	11.10.2002
304		1	25.01.2003
304		3	22.02.2003
304		5	01.03.2003
<i>Reinhardswald</i>	117	1	20.03.2007
	117	7	28.03.2007
	1067	1	20.12.2006
	1067	4	18.05.2007
	1067	7	12.09.2007
	1127	1	14.11.2005
	1127	4	23.03.2006
	1128	1	15.11.2005
	1128	4	12.01.2006
	1128	10	27.03.2006

Probenaufbereitung

Die Proben wurden in PE-Beuteln in feldfrischem Zustand direkt nach Probenahme durch den Probennehmer angeliefert. Für eine Konservierung der Proben wurden diese nach Anlieferung bei ca. 30°C bis zur Gewichtskonstanz luftgetrocknet. Zur Gewinnung des Feinbodenmaterials (Partikel < 2 mm) wurden alle Proben im Anschluss mit einem entsprechenden 2 mm-Prüfsieb gesiebt. Hierbei wurde ein schwermetallfreies und säuregespültes Kunststoffsieb verwendet, um eine Kontamination der Bodenprobe mit Schwermetallen bei der Verwendung eines Edelstahlsiebes auszuschließen.

Bestimmung Boden pH

Die Bestimmung des Boden pH erfolgte in Wasser an 2 mm gesiebten und luftgetrocknetem Boden bei einem Boden-Lösungsverhältnis von 1:5 (entspricht DIN 19684 (1997)). Die Messung des pH Wertes in der erhaltenen Suspension erfolgte automatisiert mittels eines elektronischen pH Meters.

Bestimmung mittels HNO₃-Druckaufschluss extrahierbarer Elemente

Für die Durchführung des HNO₃-Druckaufschlusses (Koch und Koch-Dedic 1974, Bock 1972) wird von jeder Probe gemahlene Material benötigt. Eine repräsentative Teilprobe des luftgetrockneten und 2 mm gesiebten Materials wurde hierfür mittels einer Scheibenschwingmühle in säuregespülten Achatmahlbechern zermahlen. Auch hier wurde auf die Verwendung von Edelmahlbechern verzichtet um eine Kontamination der Proben mit Schwermetallen durch den Mahlvorgang auszuschließen.

Der Aufschluss erfolgte an 200 mg gemahlene, homogenisierte und durch Trocknung bei 105°C (bis zur Gewichtskonstanz) wasserfreie Proben. Durch Zugabe von H₂O₂ (p.a.) erfolgt zunächst die vollständige Oxidation der organischen Substanz. Die Extraktion wurde im Anschluss mit 65% HNO₃ (p.a.) in säuregespülten Teflongefäßen bei 110°C und unter Druck in einer dafür vorgesehenen Mikrowelle durchgeführt. Die Proben wurden im Anschluss über aschefreie Filter (geeignet für Spurenanalytik, „blauband“) filtriert um somit ein partikelfreies Extrakt zu gewinnen. Die Messung der Elementkonzentration in diesem Extrakt erfolgte danach in einem induktiv gekoppelten Plasma mit optischer Emissionsspektroskopie (ICP-OES). Die dabei aus den gemessenen Konzentrationen errechneten Stoffmengen der Analyten im jeweiligen Extrakt wurden auf die entsprechende eingewogene Probenmenge zur Berechnung des Gehaltes im Boden (in mg des Elements je kg bzw. g Boden-Festschubstanz) bezogen.

Ergebnisse

Boden pH

Die in H₂O gemessenen pH Werte der für diese Untersuchung ausgewählten Bodenproben sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: In H₂O gemessene pH Werte verschiedener Bodenproben aus dem Bereich direkt unterhalb der Urne (Probe 1) und entsprechende Referenzproben (Probe 2). (n.B. = pH Wert wurde nicht bestimmt)

Standort	Baum- nr. / Urnen- pos.	pH (H ₂ O) Probe 1 (Urne)	pH (H ₂ O) Probe 2 (Ref.)	Standort	Baum- nr. / Urnen- pos.	pH (H ₂ O) Probe 1 (Urne)	pH (H ₂ O) Probe 2 (Ref.)	Standort	Baum- nr. / Urnen- pos.	pH (H ₂ O) Probe 1 (Urne)	pH (H ₂ O) Probe 2 (Ref.)
<i>Urwald Saarbrücken</i>	17 /1	4,56	4,60	<i>Odenwald</i>	10 /3	4,88	4,67	<i>Reinhardswald</i>	117 /1	4,35	4,40
	17 /7	4,58	4,62		10 /6	7,09	4,57		117 /7	4,55	4,55
	103 /1	4,93	4,68		10 /8	4,63	4,67		1067 /1	4,55	4,58
	103 /4	5,49	4,99		113 /1	4,51	4,47		1067 /4	5,08	4,50
	116 /1	4,50	4,53		113 /4	4,50	4,46		1067 /7	4,62	4,60
	116 /4	4,47	4,56		113 /7	4,52	n.b.		1127 /1	5,35	6,29
	116 /7	4,50	4,52		166 /1	4,71	4,56		1127 /4	5,36	4,72
	173 /1	4,69	4,68		166 /4	4,85	4,63		1128 /1	6,96	4,49
	173 /4	5,35	4,75		166 /7	4,86	5,05		1128 /4	4,62	4,84
	173 /7	5,85	4,84		304 /1	4,44	n.b.		1128 /10	5,96	4,59
			304 /3	5,51	4,46						
			304 /5	4,53	4,52						

Mit wenigen Ausnahmen waren die gemessenen pH Werte bei den untersuchten Bodenproben im sauren Bereich. Der mittlere pH Wert der Proben aus dem *Urwald Saarbrücken* liegt bei 4,72 für untersuchten Bodenproben unterhalb der Urnen (Proben 1) bzw. bei 4,66 für die entsprechenden Referenzproben (Proben 2). Bei den Proben vom Standort *Odenwald* liegen der mittlere pH Wert der Proben 1 bei 4,71 und der der Referenzproben (Proben 2) bei 4,59. Die Proben aus dem *Reinhardswald* zeigen mittlere pH Werte von 4,78 (Proben 1) bzw. 4,61 (Referenzproben 2).

Elementgehalte im HNO₃-Druckaufschluss

Die mittleren Gehalte der sechs ausgewählten Elemente bei den Proben 1 unterhalb der Urne und den Referenzproben 2 sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Elementgehalte (HNO₃-Druckaufschluss) von Zn, Cr, Ni, Al, K und Fe in den Proben 1 (direkt unterhalb der Urne) und den Referenzproben 2. Angegeben sind die arithmetischen Mittelwerte der Elementgehalte der Proben 1 bzw. 2, entnommen an allen am Standort untersuchten Grabbäumen (jeweilige Standardabweichung in Klammern).

		Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]
<i>Urwald</i> <i>Saarbrücken</i> (n = 10)	Probe 1	60,4	57,7	33,7	40,8	23,6	12,2
	Urne	(18,0)	(47,2)	(18,2)	(33,5)	(8,7)	(11,8)
	Probe 2	64,1	55,4	33,3	41,4	19,0	14,7
	Referenz	(31,0)	(44,7)	(20,4)	(31,1)	(8,0)	(11,2)
<i>Odenwald</i> (n = 12)	Probe 1	57,1	53,8	25,2	35,9	7,4	26,5
	Urne	(19,0)	(5,9)	(3,0)	(3,1)	(0,8)	(3,3)
	Probe 2	51,0	54,4	24,0	36,7	7,4	26,4
	Referenz	(7,8)	(7,1)	(3,3)	(3,4)	(0,8)	(4,7)
<i>Friedwald</i> <i>Reinhardswald</i> (n = 10)	Probe 1	25,7	35,2	8,2	41,7	12,6	18,8
	Urne	(14,1)	(8,8)	(7,3)	(11,4)	(4,9)	(8,3)
	Probe 2	28,3	35,2	9,9	42,9	12,3	20,9
	Referenz	(12,2)	(10,6)	(7,5)	(12,3)	(5,8)	(8,2)

Tabelle 4 zeigt die Elementgehalte in den Proben aus den Oberböden (Probe 3 & Probe 4) im Kronenbereich der Grabbäume.

Tabelle 4: Elementgehalte (HNO₃-Druckaufschluss) von Zn, Cr, Ni, Al, K und Fe in den Proben 3 (0-5 cm uGOK) und den Proben 4 (5-10 cm uGOK). Angegeben sind die arithmetischen Mittelwerte der Elementgehalte der Proben 3 bzw. 4, entnommen an allen am Standort untersuchten Grabbäumen (jeweilige Standardabweichung in Klammern).

		Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]
<i>Urwald</i> <i>Saarbrücken</i> (n = 11)	Probe 3	70,6	41,3	20,8	25,7	7,3	18,2
	0 – 5 cm	(15,8)	(18,0)	(7,6)	(11,1)	(4,3)	(6,5)
	Probe 4	64,1	40,2	19,0	26,7	6,5	17,7
	5 – 10 cm	(16,8)	(18,8)	(8,5)	(11,8)	(3,2)	(6,0)
<i>Odenwald</i> (n = 11)	Probe 3	52,3	38,9	12,4	22,7	4,2	15,1
	0 – 5 cm	(28,4)	(7,1)	(3,3)	(3,3)	(0,8)	(2,7)
	Probe 4	56,7	39,4	12,1	23,6	4,1	14,6
	5 – 10 cm	(39,7)	(5,0)	(1,2)	(2,2)	(0,5)	(0,9)
<i>Friedwald</i> <i>Reinhardswald</i> (n = 2)	Probe 3	83,9	27,3	7,7	27,0	8,4	14,5
	0 – 5 cm	(19,5)	(3,7)	(0,8)	(2,7)	(0,7)	(1,3)
	Probe 4	76,2	27,9	6,3	26,7	8,0	15,9
	5 – 10 cm	(22,6)	(3,2)	(0,8)	(5,4)	(1,9)	(3,7)

Die Proben aus den Oberböden (Probe 3 & Probe 4) aus dem Kronenbereich eines nicht zu Bestattung genutzten Referenzbaumes ergaben die in Tabelle 5 dargestellten Elementgehalte.

Tabelle 5: Elementgehalte (HNO₃-Druckaufschluss) von Zn, Cr, Ni, Al, K und Fe in den Proben 3 (0-5 cm uGOK) und den Proben 4 (5-10 cm uGOK) entnommen an Referenzbäumen am jeweiligen Standort (ohne Urnenstellen). n.b. = nicht bestimmt

		Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]
<i>Urwald Saarbrücken</i> (n = 1)	Probe 3 0 – 5 cm	50,5	25,0	8,8	9,9	2,5	11,8
	Probe 4 5 – 10 cm	43,4	21,3	8,1	12,3	2,9	10,4
<i>Odenwald</i> (n = 1)	Probe 3 0 – 5 cm	30,7	32,2	7,2	16,4	3,9	12,6
	Probe 4 5 – 10 cm	126,8	36,9	11,9	21,4	3,7	13,7
<i>Friedwald Reinhardswald</i>	Probe 3 0 – 5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Probe 4 5 – 10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Die gefundenen Elementgehalte allen Proben zeigen durchweg für Waldböden normale Gehalte, die sämtlich im Bereich der in der Literatur angegeben möglichen geogenen Hintergrundgehalte liegen (Hintergrundgehalte 10 bis 90 Perzentil der Verteilung: Zn: 33-240 mg/kg (Wilke, 2010), Cr: 5-100 mg/kg (Stückrad und Wilke 2015) und Ni: 2-130 mg/kg (Wilcke 2015)). Teilweise große Standardabweichungen deuten auf eine ausgeprägte Heterogenität der Gehalte aus den untersuchten Flächen sowohl im Oberboden (Proben 3 und 4) als auch im Unterboden (Proben 1 und 2) hin. Besonders heterogen zeigen sich hierbei die Standorte *Urwald Saarbrücken* und *Reinhardswald*, jedoch weist der Standort *Odenwald* eine Heterogenität der Gehalte der untersuchten Elemente in der Fläche auf. Die an den Referenzbäumen ohne durchgeführte Bestattung entnommen Oberbodenproben liegen mit Ausnahme von Zn in der Probe der Probe 4 im *Odenwald* innerhalb der Wertebereiche, die auch in den Oberböden aus dem Kronenbereich der Grabbäume festgestellt wurden.

Die Gehalte der Elemente Zn, Cr, N (in mg/kg Boden) sowie Al, K und Fe (in mg/g Boden) der entnommenen Bodenproben sind in Tabelle 6 (*Urwald Saarbrücken*), Tabelle 7 (*Odenwald*) und Tabelle 8 (*Reinhardswald*) dargestellt.

Tabelle 6: Gehalte der untersuchten Elemente in den Bodenproben an den untersuchten Grabbäumen im *Urwald Saarbrücken*. n.b. = nicht bestimmt

Baumnr./ Urnenpos.		Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]
17/1	1 Urne	49,42	21,08	18,82	22,53	16,71	5,87
	2 Ref.	44,25	21,13	18,92	21,36	16,75	5,95
	3 0-5 cm	60,58	22,15	9,91	13,56	2,91	13,89
	4 5-10 cm	38,14	18,41	5,76	13,63	2,92	9,24
17/7	1 Urne	35,73	17,79	16,84	16,47	11,16	3,84
	2 Ref.	38,98	19,18	15,90	16,92	12,29	3,94
	3 0-5 cm	44,79	20,03	7,43	11,31	2,51	11,31
	4 5-10 cm	38,51	14,54	5,94	12,33	2,55	8,97
103/1	1 Urne	45,42	44,73	28,38	23,65	24,66	6,78
	2 Ref.	56,09	53,25	38,69	35,12	26,90	10,65
	3 0-5 cm	63,49	35,60	17,06	22,32	5,72	17,70
	4 5-10 cm	54,80	33,66	16,12	22,68	5,77	17,19
103/4	1 Urne	75,51	54,80	27,36	21,32	35,05	5,56
	2 Ref.	42,41	46,80	32,95	25,02	25,53	6,96
	3 0-5 cm	60,64	41,56	18,77	21,75	5,54	17,53
	4 5-10 cm	64,75	42,16	18,84	21,80	5,61	19,10
103/7¹	1 Urne	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	2 Ref.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	3 0-5 cm	69,42	39,33	21,16	22,39	5,78	19,76
	4 5-10 cm	74,26	38,49	19,46	22,45	5,36	17,33
116/1	1 Urne	60,75	31,30	28,40	26,71	17,87	6,69
	2 Ref.	83,26	34,51	34,59	30,57	7,21	21,74
	3 0-5 cm	73,99	34,31	20,46	21,94	5,20	17,17
	4 5-10 cm	60,31	34,24	18,42	23,86	5,78	15,60
116/4	1 Urne	51,21	25,43	23,58	23,00	17,40	5,96
	2 Ref.	32,11	34,72	15,27	28,66	17,73	8,46
	3 0-5 cm	54,40	26,32	25,95	23,65	16,86	5,75
	4 5-10 cm	62,17	32,67	18,91	23,50	5,53	15,59
116/7	1 Urne	54,43	31,68	24,40	24,82	17,21	6,08
	2 Ref.	132,46	27,90	25,58	24,03	17,32	5,74
	3 0-5 cm	79,66	40,29	22,33	23,69	5,50	20,09
	4 5-10 cm	64,91	33,03	19,85	24,28	5,47	15,74
173/1	1 Urne	55,04	65,72	35,75	45,04	35,53	14,01
	2 Ref.	46,53	40,68	14,98	33,65	9,24	17,84
	3 0-5 cm	83,69	52,67	23,09	34,64	8,51	23,30
	4 5-10 cm	68,06	52,36	21,60	34,99	8,48	22,80
173/4	1 Urne	91,47	134,66	63,21	95,00	27,85	38,39
	2 Ref.	77,71	138,27	61,10	102,17	29,72	33,89
	3 0-5 cm	88,66	60,73	28,51	36,42	9,14	24,37
	4 5-10 cm	89,14	64,20	29,53	41,79	10,53	25,27
173/7	1 Urne	85,29	149,97	70,06	109,70	32,52	28,86
	2 Ref.	86,89	137,52	74,84	96,81	27,23	32,19
	3 0-5 cm	97,75	81,47	34,00	50,86	13,19	29,53
	4 5-10 cm	89,55	78,81	34,97	51,85	13,33	28,33

¹ Probe 1 und Referenzprobe 2 konnten an dieser Urnenstelle nicht beprobt werden, da das Einschlagen eines Bohrstocks auf Grund des hohen Bodenskelett-Anteils nicht möglich war.

Tabelle 7: Gehalte der untersuchten Elemente in den Bodenproben an den untersuchten Grabbäumen im *Odenwald*.
n.b. = nicht bestimmt

Baumnr./ Urnenpos.	Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]	
10/3	1 Urne	51,6	59,1	28,1	39,02	7,78	29,56
	2 Ref.	53,0	60,4	28,9	39,37	8,08	30,93
	3 0-5 cm	46,0	52,0	18,0	30,08	6,19	22,16
	4 5-10 cm	39,2	40,8	13,0	23,91	4,24	14,71
10/6	1 Urne	57,8	50,1	23,8	33,91	7,05	25,98
	2 Ref.	53,1	69,3	26,6	42,47	8,82	35,63
	3 0-5 cm	36,1	32,8	9,8	21,24	3,77	13,85
	4 5-10 cm	43,7	39,0	11,9	24,14	4,25	14,44
10/8	1 Urne	113,6	51,6	22,6	34,36	6,86	25,66
	2 Ref.	45,0	51,7	24,1	34,75	7,17	25,83
	3 0-5 cm	35,2	41,4	12,4	23,44	4,17	14,45
	4 5-10 cm	36,4	30,6	12,8	21,98	3,49	14,02
113/1	1 Urne	54,4	57,1	30,1	38,94	8,06	30,53
	2 Ref.	48,0	51,4	23,9	33,94	7,16	24,28
	3 0-5 cm	31,8	29,7	9,9	19,81	3,69	13,83
	4 5-10 cm	40,0	42,4	12,9	25,74	4,87	14,82
113/4	1 Urne	44,6	47,7	23,9	34,17	7,10	22,51
	2 Ref.	54,8	53,6	28,4	36,67	7,70	24,35
	3 0-5 cm	32,9	32,0	9,6	19,35	3,73	13,03
	4 5-10 cm	42,0	36,7	13,1	23,31	4,39	15,34
113/7	1 Urne	42,6	42,9	20,2	31,11	6,03	18,92
	2 Ref.	48,9	52,5	21,5	35,04	7,16	23,11
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
166/1	1 Urne	55,9	59,3	28,9	39,52	8,41	27,37
	2 Ref.	47,9	42,2	22,5	31,48	6,12	20,07
	3 0-5 cm	65,2	45,9	18,3	25,69	4,55	17,75
	4 5-10 cm	41,2	35,2	11,5	18,48	3,35	14,49
166/4	1 Urne	56,2	59,8	27,2	39,24	8,32	28,47
	2 Ref.	66,9	61,0	27,6	40,48	8,44	32,37
	3 0-5 cm	49,8	46,5	12,5	21,00	4,06	14,65
	4 5-10 cm	40,7	43,7	11,0	23,80	4,14	15,95
166/7	1 Urne	66,9	58,7	26,3	35,82	7,84	28,84
	2 Ref.	63,0	57,6	23,7	37,82	7,86	29,39
	3 0-5 cm	48,7	32,0	11,8	20,49	3,51	14,85
	4 5-10 cm	166,9	47,2	11,7	23,40	4,07	14,74
304/1	1 Urne	47,1	47,1	24,4	32,34	6,37	25,68
	2 Ref.	44,4	55,2	18,8	33,90	6,52	21,38
	3 0-5 cm	125,7	39,5	9,7	21,20	3,70	13,34
	4 5-10 cm	87,2	40,6	11,2	24,07	4,22	13,36
304/3	1 Urne	46,7	53,3	22,3	33,68	6,94	25,15
	2 Ref.	48,7	51,7	23,2	33,82	6,59	24,61
	3 0-5 cm	75,3	40,3	15,2	25,83	4,70	15,27
	4 5-10 cm	38,9	32,4	10,6	23,06	3,97	13,29
304/5	1 Urne	48,1	59,0	24,0	39,47	8,20	28,75
	2 Ref.	39,2	46,3	19,4	40,37	7,13	25,10
	3 0-5 cm	28,8	36,2	9,7	21,49	3,86	13,39
	4 5-10 cm	33,4	42,1	14,5	27,29	4,83	15,89

Tabelle 8: Gehalte der untersuchten Elemente in den Proben an den untersuchten Grabbäumen im *Reinhardswald*.n.b. = nicht bestimmt²

Baumnr./ Urnenpos.		Zn [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Al [mg/g]	K [mg/g]	Fe [mg/g]
117/1	1 Urne	41,4	43,0	17,0	49,90	18,50	26,92
	2 Ref.	47,7	48,0	23,4	56,62	20,39	33,20
	3 0-5 cm	97,7	29,9	8,3	28,88	8,86	15,46
	4 5-10 cm	92,2	25,7	6,9	22,91	6,63	13,29
117/7	1 Urne	57,2	40,5	25,7	43,49	15,82	34,45
	2 Ref.	47,9	47,8	24,4	50,11	18,03	34,39
	3 0-5 cm	70,1	24,7	7,2	25,10	7,88	13,60
	4 5-10 cm	60,2	30,2	5,8	30,51	9,39	18,54
1067/1	1 Urne	21,9	35,0	6,2	30,68	7,26	16,93
	2 Ref.	24,9	27,9	5,5	25,43	4,74	15,89
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1067/4	1 Urne	19,8	23,5	5,0	28,19	8,09	10,19
	2 Ref.	27,1	52,7	7,9	55,09	16,99	26,05
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1067/7	1 Urne	25,7	31,6	4,5	28,65	5,53	13,32
	2 Ref.	39,4	34,9	7,1	30,98	5,56	16,70
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1128/1	1 Urne	10,0	27,8	3,4	45,89	12,68	10,63
	2 Ref.	19,6	31,5	4,9	41,17	10,19	15,01
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1128/4	1 Urne	30,2	50,0	7,1	58,42	18,23	26,94
	2 Ref.	21,6	42,0	6,0	51,79	15,13	21,51
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1128/10	1 Urne	19,1	40,5	5,4	52,15	15,51	20,50
	2 Ref.	16,6	27,3	4,7	31,77	7,61	10,91
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1127/1	1 Urne	13,5	23,1	2,3	29,90	8,14	11,11
	2 Ref.	17,2	31,1	5,7	30,34	7,53	13,18
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1127/4	1 Urne	18,5	37,3	5,7	50,15	15,76	17,37
	2 Ref.	20,6	55,4	9,1	55,75	16,94	22,53
	3 0-5 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	4 5-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

² Messungen noch nicht abgeschlossen, Ergebnisse werden in aktualisierter Fassung des Berichts nachgereicht.

Diskussion

Frage 1: Anstieg des Boden pH durch Verbringung von Kremationsasche?

Ein Vergleich der mittleren pH Werte der Proben 1 mit den entsprechenden pH Werten der Referenzproben 2 zeigt, dass an jedem Standort ein leichter Trend zu höheren pH Werten in den Proben 1 zu beobachten ist (Differenzen der Mittelwerte: +0,06 bei den Proben aus dem *Urwald Saarbrücken*, + 0,11 bei den Proben aus dem *Odenwald* und +0,17 bei den Proben aus dem *Reinhardswald*). Für einen Vergleich der pH Werte aller Proben 1 mit den pH Werten aller Proben 2 ist erst die Umrechnung der logarithmisch dargestellten pH Werte in H_3O^+ -Konzentrationen notwendig. Die Testbedingungen, dass die beiden Wertegruppen normalverteilt sind ist nach der Umrechnung gegeben (Shapiro-Wilk Test, $P = 0,232$). Der t-test zeigt, dass der Unterschied zwischen den pH Werten der Proben 1 und Proben 2 signifikant ist ($P = 0,029$)

Es zeigt sich damit, dass die Böden unterhalb der Urnenstellen einen leicht erhöhten pH Wert aufweisen und dass trotz der relativ kurzen Zeit zwischen Bestattungen und Untersuchung der Bodenproben bereits basisch reagierende Inhaltsstoffe aus der Asche verlagert wurden und damit die Konzentration von H_3O^+ in der Bodenlösung sinkt (entspricht einem höheren pH Wert). Der gefundene Anstieg des Boden pH im Vergleich der Proben 1 und Proben 2 ist signifikant, liegt jedoch im Bereich von natürlich auftretenden räumlichen und auch zeitlichen Variabilität des pH Wertes an Waldstandorten. Es ist damit wahrscheinlich, dass sich Zusammensetzung der Bodenfauna unterhalb der bestatteten Urnen den mittelfristig durch den Ascheeintrag bedingten Änderungen des pH Wertes anpassen wird. Dauerhafte Änderungen von Bodeneigenschaften sind bei den gefundenen geringen Änderungen des pH Wertes kurz- und mittelfristig unwahrscheinlich.

Frage 2: Erhöhte Gehalte an (Schwer-)Metallen in Böden unterhalb der Urnenstellen?

Ein direkter Vergleich der Mittelwerte der untersuchten Elementgehalte in den Proben 1 (direkt unter der Urne) mit den jeweiligen Referenzproben 2 zeigt keinen Trend zu höheren Gehalten in den Proben 1. Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass von den 192 zum Vergleich zur Verfügung stehenden Wertepaaren (6 Elemente * (10+12+10) Standorte = 192 Paare Probe 1 / Probe 2) bei insgesamt 118 Wertepaaren ein höherer Elementgehalt in der Referenzprobe 2 als in der Probe 1 aus Boden unterhalb der Urnenstelle gefunden wurde (dementsprechend lag bei 74 Wertepaaren eine höherer Elementgehalt in der Probe 1 im Vergleich zur Probe 2 vor). Diese Beobachtung trifft auch zu, wenn man die untersuchten Schwermetalle Zn, Cr und Ni allein betrachtet. Für keines dieser Elemente ist ein Trend zu höheren Gehalten in den Proben 1 im Vergleich zu den Referenzproben 2 zu erkennen (Zn: von 32 Wertepaaren 15 mit höheren Gehalten in Probe 1, 17 mit höheren Gehalten in Probe 2; Cr: von 32 Wertepaaren 12 mit höheren Gehalten in Probe 1, 20 mit höheren Gehalten in Probe 2; Ni von 32 Wertepaare 13 mit höheren Gehalten in Probe 1, 19 mit höheren Gehalten in Probe 2). Damit liegen bei etwa 61% der Wertepaare höhere Elementgehalte in der Referenzprobe 2 als in der Probe 1 vor, so dass die Hypothese (höhere Gehalte in Probe 1 durch die Verbringung von Kremationsaschen) bereits abgelehnt werden kann.

Ein Vergleich der Verteilungen der Einzelwerte für die Schwermetalle Zn, Cr und Ni erlauben die Box-Whisker-Plots in den Abbildung 2 (*Urwald Saarbrücken*), Abbildung 3 (*Odenwald*) sowie Abbildung 4 (*Reinhardswald*).

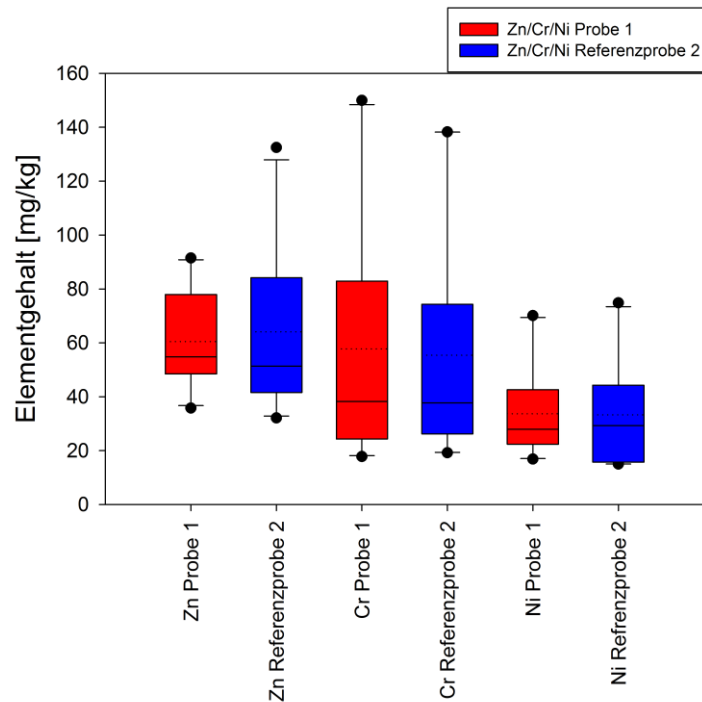


Abbildung 2: Box-Whisker-Plot der Elementgehalte von Zn, Cr und Ni in den Proben 1 (rot) und den Proben 2 (blau) am Standort *Urwald Saarbrücken*. Die „Boxen“ stellen hierbei die den Interquartilsabstand dar und repräsentieren 50% der Messwerte. Die Whisker stellen das 10-Perzentil bzw. das 90-Perzentil dar. Werte außerhalb dieses Bereichs („Ausreißer“) werden als Punkte dargestellt. Die durchgezogene Linie ist der Median, die unterbrochene Linie der arithmetische Mittelwert aller Messwerte.

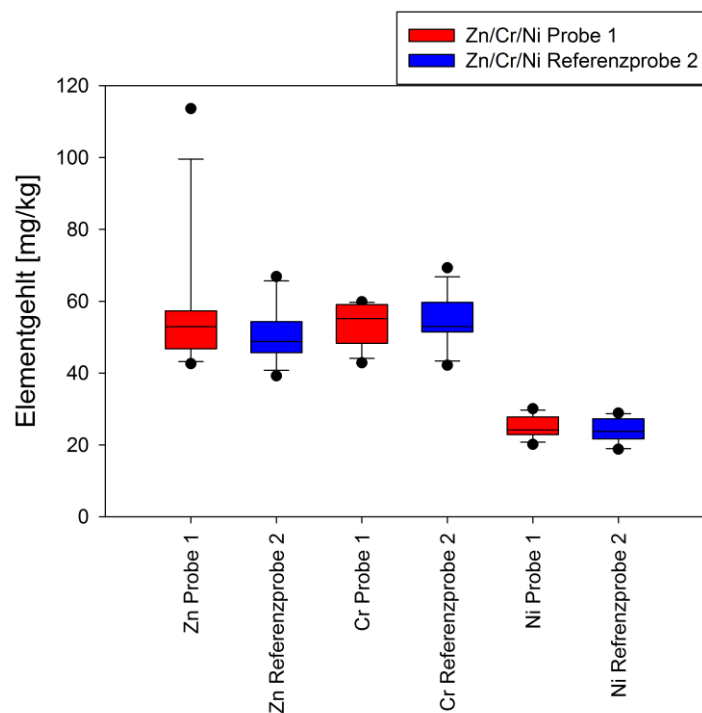


Abbildung 3: Box-Whisker-Plot der Elementgehalte von Zn, Cr und Ni in den Proben 1 (rot) und den Proben 2 (blau) am Standort *Odenwald*. Die „Boxen“ stellen hierbei die den Interquartilsabstand dar und repräsentieren 50% der Messwerte. Die Whisker stellen das 10 Perzentil bzw. das 90 Perzentil dar. Werte außerhalb dieses Bereichs („Ausreißer“) werden als Punkte dargestellt. Die durchgezogene Linie ist der Median, die unterbrochene Linie der arithmetische Mittelwert aller Messwerte.

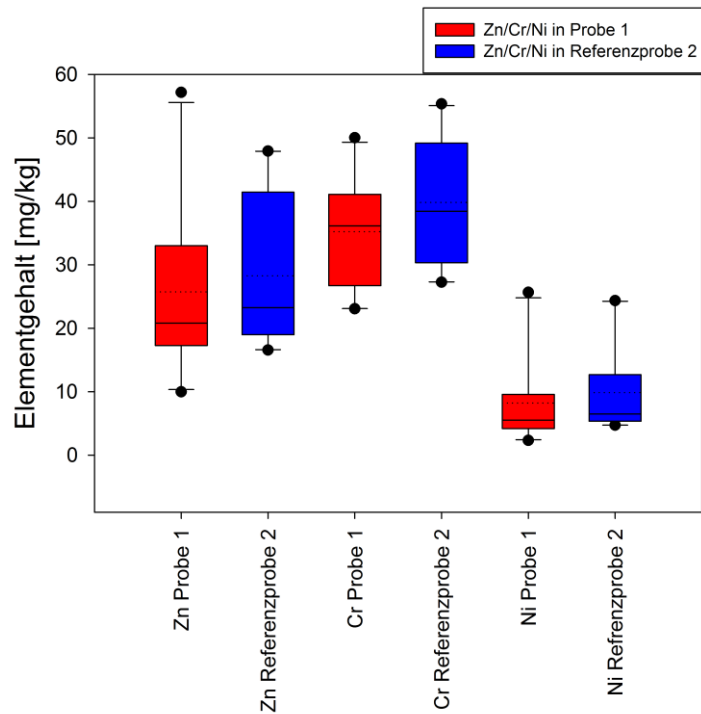


Abbildung 4: Box-Whisker-Plot der Elementgehalte von Zn, Cr und Ni in den Proben 1 (rot) und den Proben 2 (blau) am Standort Reinhardswald. Die „Boxen“ stellen hierbei die den Interquartilsabstand dar und repräsentieren 50% der Messwerte. Die Whisker stellen das 10. Perzentil bzw. das 90. Perzentil dar. Werte außerhalb dieses Bereichs („Ausreißer“) werden als Punkte dargestellt. Die durchgezogene Linie ist der Median, die unterbrochene Linie der arithmetische Mittelwert aller Messwerte.

Auch hier ist deutlich anhand des Vergleichs der Lage der roten und blauen Boxen zu erkennen, dass die Elementgehalte in den Proben 1 nicht größer sind als in den Referenzproben 2. Auch die räumliche Heterogenität in der Verteilung der Hintergrundgehalte ist hier an den relativ weiten Interquartilsabständen („Boxen“) dargestellt. Dies gilt insbesondere für den *Urwald Saarbrücken* und den *Reinhardswald*, die Streuung der Werte am Standort *Odenwald* ist wesentlich geringer.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen damit, dass keine erhöhten Gehalte der untersuchten Elemente in den Bodenproben unterhalb der Urne (Proben 1) nachzuweisen sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann keine vertikale Verlagerung der Schwermetalle Zn, Cr und Ni aber auch der anderen untersuchten Aschenbestandteile K, Fe und Al aus der Kremationsasche in die darunter liegenden Bodenschichten festgestellt werden.

Frage 3: Höhere Schwermetallgehalte im Oberboden aus dem Kronenbereich von Grabbäumen?

Prinzipiell ist eine verstärkte Aufnahme von Schwermetallen durch die Grabbäume nicht anzunehmen, da kein zusätzlicher Schwermetalleintrag durch die Kremationsaschen gefunden werden konnte (siehe Frage 2). Auf Grund der hohen Heterogenität der gefundenen Gehalte in den Proben 3 und 4 unterhalb der Grabbäume und der sehr geringen Anzahl an untersuchten Proben unter Referenzbäumen ist es jedoch nicht möglich, diese Aussage statistisch zu belegen. Hier wäre eine höhere Anzahl an untersuchten Referenzbäumen an den drei Standorten notwendig.

Schlussfolgerungen

Die hier dargestellten Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen von verschiedenen Bodenproben aus drei seit ca. 10 Jahren als Bestattungsort für kremierten Menschen genutzten Wäldern in Deutschland zeigen, dass die Einflüsse von Kremationsasche in Waldböden auf den Boden pH (Zunahme) zwar signifikant sind aber als gering eingestuft werden können. Eine Erhöhung der Elementgehalte von Zn, Cr, Ni, K, Fe und Al in Böden unterhalb der Urnenstellen im Vergleich zu entsprechenden Referenzproben konnte nicht festgestellt werden. Die leicht aber signifikant erhöhten Boden pH Werte aus den Proben unterhalb der Urnenstellen zeigen jedoch zum einen den Austrag von basisch reagierenden Inhaltsstoffen aus der Asche und bestätigen, dass tatsächlich Bereiche im Sickerwasserabstrom der Urnenstellen beprobt wurden.

Es zeigt sich damit, dass in den vorliegenden Zeiten nach der Bestattung (8-13 Jahre) keine messbare Verlagerung von Schwermetallen aus der Kremationsasche in den darunter liegenden Boden stattgefunden hat. Daher ist auch eine Verlagerung über den Transferpfad Boden-Grundwasser über Sickerwasser unwahrscheinlich, so lange die Urnenstellen nicht durch alternierende Grundwasserpegel mit dem Grundwasser direkt in Kontakt kommen.

Der Boden besitzt eine nicht unerhebliche Pufferfunktion, die einer vertikalen Verlagerung massiv entgegen wirken kann. Diese Pufferfunktion ist insbesondere abhängig von der Bodentextur, dem Boden pH, dem Gehalt an organischer Substanz und an pedogenen Oxiden (in Abhängigkeit von dem jeweilig betrachteten Element). Selbst wenn geringe Mengen an Schwermetallen aus der Asche durch das Sickerwasser mobilisiert werden, so können diese innerhalb einer sehr kurzen Distanz während der Bodenpassage sorbiert bzw. gepuffert und somit zurückgehalten werden. Die Pufferfunktion des Bodens gegenüber Schwermetallen zeigt sich auch bei der Analyse von Tiefenprofilen von atmosphärisch deponierten Schwermetallen: Ein Beispiel dafür ist dabei Pb, dass bis in die 80er Jahre als Antiklopfmittel in Kraftstoffen eingesetzt wurde und daher in Straßenrandböden weltweit in hohen Konzentrationen zu finden ist. Die Pb Belastung der Straßenrandböden beschränkt sich heute, ca. 30 Jahre nach Ende der Verwendung in Kraftstoffen, weiterhin auf die obersten 10-15 cm Boden. Tiefere Bodenschichten sind in der Regel nicht oder nur gering betroffen. Eine weitere Verlagerung der teilweise erheblichen Pb-Mengen fand seitdem nicht statt, da die Puffereigenschaften des Boden (im Falle von Pb insbesondere die hohen Gehalte an organischer Substanz im Oberboden), eine vertikale Verlagerung verhindert haben. Dies zeigt deutlich, dass selbst hohe Eintragsmengen an Schwermetallen nicht gleichbedeutend mit einer Verlagerung innerhalb des Bodens bis hin zu einem Eintrag in das Grundwasser sind.

Obwohl unsere Ergebnisse zeigen, dass an den untersuchten Standorten keine Verlagerung von Schwermetallen stattgefunden hat möchten wir empfehlen, die Einrichtung von Bestattungsplätzen in Wäldern auch bodenkundlich und hydrologisch begleiten zu lassen. Stichprobenartig kann im Vorfeld einer Einrichtung die Pufferfunktion des Bodens gegenüber eines etwaigen Schwermetalleintrags durch Kremationsasche erhoben werden. Dies dient der weiteren Risikominimierung. Insbesondere sollten hier die Parameter Bodentextur, Boden pH, Gehalt an organischer Substanz und an pedogenen Fe-Oxiden in der durchschnittlichen Ablagetiefe der Urnen (80 cm) erhoben und zur Beurteilung der Standorte herangezogen werden. Auch hydrologische Eigenschaften der Standorte sollten zur Beurteilung der Eignung eines Standorts herangezogen werden. Hier sollten insbesondere mittlere Grundwasserstand, jahreszeitliche Änderungen im Grundwasserstand und etwaige Stauschichten erhoben werden. Der Einfluss auf die ökologischen Eigenschaften der Waldböden (Nährstoffgehaltserhöhung) müsste im Rahmen weiterer Untersuchungen ebenfalls getestet werden.

Literatur

- DIN 19684-1, 1997. DIN 19684-1:1997 Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau chemische Laboruntersuchungen. Bestimmung des pH-Wertes des Bodens und Ermittlung des Kalkbedarfs.
- Bock, R. (1972): Aufschlußmethoden der anorganischen und organischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim
- Koch, O.G. und G.A. Koch-Dedic (1974): Handbuch der Spurenanalyse, 2.Aufl. Bd 2, Springer Verlag
- Stückrad, S., Wilcke, W. (2015): Chrom – Stoffdatenblatt. In: Bodengefährdende Stoffe – 15. Ergänzungslieferung. Hrsg. Litz, N., Wilcke, W., Wilke, B.-M. Wiley-VCH, Weinheim
- Wilcke, W. (2015): Nickel – Stoffdatenblatt. In: Bodengefährdende Stoffe – 15. Ergänzungslieferung. Hrsg. Litz, N., Wilcke, W., Wilke, B.-M. Wiley-VCH, Weinheim.
- Wilke, B.-M.(2010): 10. Gefährdung der Bodenfunktionen. In: Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde (16. Auflage). Hrsg.: Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M.. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.