

HPC AG  
Nördlinger Straße 16  
86655 Harburg  
Telefon: (0 90 80) 9 99-0  
Telefax: (0 90 80) 9 99-2 69

---

Projekt-Nr.	<b>2183001</b>	Ausfertigungs-Nr.	<b>1/3</b>	Datum	<b>31. Juli 2018</b>
-------------	----------------	-------------------	------------	-------	----------------------

---

**Bodengutachten zum Bebauungsplan „Bestattungswald Donauwörth (Stiegel-  
schlag)“ auf den Flurstücken 2583 und 2579 Donauwörth**

---

Auftraggeber

**Große Kreisstadt Donauwörth  
Stadtplanung  
Rathausgasse 1  
86609 Donauwörth**

**Bearbeiter: Thomas Obel  
M. Sc. Umweltsysteme und Nachhaltigkeit**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Text</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Anlass und Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2. Einschränkungen und Ausnahmen</b>	<b>4</b>
<b>3. Standortbeschreibung</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Allgemeine Angaben</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Standortbeschreibung</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Untergrundverhältnisse</b>	<b>6</b>
<b>3.4 Historische Standortnutzung</b>	<b>7</b>
<b>4. Literatur- und Datenrecherche</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Ausgangslage</b>	<b>7</b>
<b>4.2 Bodenschutzrechtliche Betrachtung</b>	<b>8</b>
<b>4.3 Frachtberechnung</b>	<b>10</b>
<b>5. Durchgeführte Untersuchungen</b>	<b>11</b>
<b>5.1 Analysenumfang</b>	<b>12</b>
<b>6. Untersuchungsergebnisse</b>	<b>13</b>
<b>6.1 Untergrund</b>	<b>13</b>
<b>6.2 Organoleptische Befunde</b>	<b>14</b>
<b>6.3 Analyseergebnisse Wirkungspfad Boden - Grundwasser -   Bodeneinzelpfen</b>	<b>14</b>
<b>7. Gefährdungsbeurteilung</b>	<b>15</b>
<b>7.1 Bewertung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer</b>	<b>15</b>
<b>7.2 Quellterm</b>	<b>15</b>
<b>7.3 Eigenschaften und Verfügbarkeit der Stoffe</b>	<b>16</b>
<b>7.4 Transport, Retention und Abbau</b>	<b>16</b>
<b>7.5 Fazit</b>	<b>17</b>
<b>8. Zusammenfassung und Maßnahmenempfehlungen</b>	<b>17</b>
<b>9. Verwendete Unterlagen</b>	<b>18</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittelwerte der (Schwer-) Metallanalysen von Totenasche aus 11 Krematorien [4]	8
Tab. 2: Vorsorgewerte für Metalle gem. BBodschV bezogen auf Bodenart Lehm/Schluff	9
Tab. 3: Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen [2]	9
Tab. 4: Jährliche Hintergrundbelastung an Schwermetallen über atmosphärische Deposition [5].	10
Tab. 5: Anzahl potenziell einbringbarer Urnen pro Schadstoff	11
Tab. 6: Zusammenstellung Analysenprogramm	13
Tab. 7: Zusammenstellung Analyseergebnisse Bodeneinzelproben	14

## Anlagen

- 1.1 Übersichtslageplan, Maßstab M = 1 : 10.000
- 1.2 Lageplan mit Darstellung der Geologie
- 1.3 Lageplan mit Kennzeichnung der Aufschlusspunkte
- 2 Schichtenverzeichnisse KRB01 - KRB05
- 3 Bohrprofile KRB01 - KRB05
- 4 Probenahmeprotokolle
- 5 Bericht Kampfmitteluntersuchung
- 6 Fotodokumentation der Geländearbeiten
- 7 Laborprüfberichte

## 1. Anlass und Aufgabenstellung

Die Große Kreisstadt Donauwörth beabsichtigt die Anlage eines Bestattungswaldes auf den Flurstücken 2583 und 2579 („Stiegelschlag“) der Gemarkung Donauwörth.

Im Rahmen der Genehmigung des Bestattungswaldes müssen gem. § 32 (1) 4. der Bayerischen Bestattungsverordnung (BestV) Angaben über das Niveau der Erdoberfläche, das Bodenprofil bis 1 m unter die Grabessohle, den bei Schürfungen angetroffenen und den zu erwartenden höchsten Grundwasserstand im Bereich der zur Erdbestattung vorgesehenen Flächen gemacht werden.

Hierzu wurde durch die Städtische Forstverwaltung Donauwörth auf Grundlage von fünf Baggerschürfen bereits ein Bodengutachten (19.03.2018) erstellt. In einer Besprechung zum Bebauungsplan am 09.05.2018 wurde erörtert, dass das vorliegende Bodengutachten nicht ausreichend sei. Dieses müsse um die Angaben einer Stellungnahme des Bayerischen Landesamtes für Umwelt vom 10.03.2017 in einem weiteren Bodengutachten ergänzt werden. Das erweiterte Gutachten soll eine rechnerische Abschätzung der Anzahl der potenziell einbringbaren Urnen unter Berücksichtigung der geologischen Standortverhältnisse, der geogenen Hintergrundgehalte und der örtlichen Grundwassersituation enthalten.

Daher sind folgende Untersuchungsschritte geplant:

- Literatur- und Datenrecherche vorhandener Unterlagen und Studien.
- Abteufen von 5 Kleinrammbohrungen (DN 60/50) bis in Tiefen von 3 bis 7 m unter Gelände inkl. Entnahme von Bodenproben. Mit diesem Untersuchungsschritt soll die (hydro-)geologische Untergrundsituation des Standortes erfasst werden.
- Oberflächliche Bodenprobenahmen mittels Pürckhauer-Bohrstock in Beprobungstiefen von 0,8 bis 1,0 m unter Gelände und Zusammenführung der gewonnenen Einzelproben zu repräsentativen Flächen-Mischproben.
- Chemische Analytik der Bodenproben auf Schwermetalle gem. BBodSchV Anhang 2, Tabelle 4.1: Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Zink sowie Chrom VI.
- Chemische Bestimmung des Humus-Gehaltes über den Parameter TOC sowie Bestimmung des pH-Wertes und die Säureneutralisationskapazität (SNK) des Bodens.
- Zusammenfassung der Ergebnisse der Recherchen und der Vor-Ort-Untersuchung unter bodenschutzrechtlichen Gesichtspunkten in einem Untersuchungsbericht.

Mit der Umsetzung der erforderlichen Untersuchungen und Recherchen wurde die HPC AG von der Großen Kreisstadt Donauwörth auf Basis des standortspezifischen Angebots mit der Nr. 1183001 am 20.06.2018 beauftragt.

## 2. Einschränkungen und Ausnahmen

Der vorliegende Untersuchungsbericht dokumentiert die Ergebnisse der von HPC durchgeführten Informationsermittlungen sowie von orientierenden Bodenuntersuchungen im Bereich des geplanten Bestattungswaldes Donauwörth. Die Untersuchungen wurden von HPC gemäß der Aufgabenstellung und nach den allgemein anerkannten ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Verfahren durchgeführt und beurteilt, die zum Zeitpunkt der Untersuchung gültig waren.

Wie bei jeder umweltbezogenen Bestandsaufnahme besteht eine gewisse Abhängigkeit von mündlichen Informationen, die bei den Untersuchungen von Auskunftspersonen vor Ort erteilt wurden und nicht ohne weiteres durch Inaugenscheinnahme überprüfbar bzw. nicht aktenmäßig belegt sind. HPC übernimmt keine Haftung für Aussagen, Einschätzungen, Bewertungen oder Folgen, die daraus resultieren, dass während der Erarbeitung dieses Berichtes wesentliche Umstände von Gesprächspartnern vor Ort unkorrekt dargestellt, vorenthalten oder nicht vollständig offengelegt worden sind.

Die Ergebnisse der Untersuchungen ermöglichen zuverlässige Aussagen über die Situation des Untergrundes an den jeweiligen Bohr- und Probenahmepunkten gemäß den mit dem Bohren, der Probenahmetechnik und der Analytik verbundenen Verfahren. Es kann niemals ausgeschlossen werden, dass an nicht untersuchten Stellen unerkannte Verunreinigungen vorliegen.

Dieser Bericht sowie alle in ihm enthaltenen Daten und Erläuterungen (nachfolgend „die Informationen“) wurden von HPC ausschließlich für den Auftraggeber zusammengestellt bzw. erarbeitet. Der Auftraggeber darf die Informationen an Dritte weitergeben, die die Informationen in eigener Verantwortung verwenden und als Grundlage von ihnen zu treffender Entscheidungen benutzen können.

Jegliche Verwendung der Informationen durch Dritte erfolgt jedoch ausschließlich auf deren Risiko und ohne rechtliche Verantwortung von HPC, ihrer Tochtergesellschaften und verbundenen Unternehmen oder ihrer Mitarbeiter oder Organvertreter, gleich aus welchem Rechtsgrund ein etwaiger Anspruch hergeleitet wird. Dritte, die mit dem vorstehenden Haftungsausschluss nicht einverstanden sind, dürfen die Informationen weder verwenden, noch als Grundlage von ihnen zu treffender Entscheidungen benutzen.

### 3. Standortbeschreibung

#### 3.1 Allgemeine Angaben

HPC Projekt-Nr.:	2183001
Auftraggeber:	Große Kreisstadt Donauwörth Stadtplanung Rathausgasse 1 86609 Donauwörth
Ort der Untersuchung:	Perchtoldsdorfer Straße 86609 Donauwörth Flurstücke: 2583 und 2579 Gemarkung: Donauwörth
Ansprechpartner:	Marco Schwartz (Stadt Donauwörth) Michael Fürst (Forstamt Stadt Donauwörth) Konrad Nagl (Ordnungsamt Stadt Donauwörth)  Thomas Obel (HPC) Christian Hein (HPC)

#### 3.2 Standortbeschreibung

Das Untersuchungsareal liegt am nördlichen Ortsrand der Großen Kreisstadt Donauwörth, ca. 3,2 km entfernt vom historischen Ortskern. Das Grundstück befindet sich im westlichen Teilbereich auf einer durchschnittlichen Höhe von ca. 503 m ü. NN und fällt nach Osten hin auf ca. 489 m ü. NN ab. Die maximale Höhendifferenz beträgt somit ca. 14 m.

Die Flurstücke sind nicht versiegelt und werden derzeit als Buchen-Eichen-Mischwald forstwirtschaftlich genutzt.

Das Areal wird großräumig wie folgt eingegrenzt:

Norden: Forstwirtschaftliche Flächen des Donauwörther Forstes.

Osten: Perchtoldsdorfer Straße, gefolgt vom Golfplatz Donauwörth.

Süden: Wohngebiet Parkstadt Donauwörth.

Westen: Forstwirtschaftliche Flächen des Donauwörther Forstes, gefolgt von Bundesstraße B2

Den nächsten Vorfluter stellt ein kleiner, nicht ständig wasserführender Graben, ca. 50 m nördlich der nördlichen Grundstücksgrenze dar (nicht wasserführend während der Untersuchung). Dieser mündet östlich des Golfplatzes in den „Lochbach“, welcher wiederum östlich der Stadt Donauwörth in die Donau entwässert.

Gemäß dem digitalen Kartendienst des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, dem sog. „Bayern Atlas“, befindet sich die nächsten Trinkwasserschutzgebiete „Donauwörth, St“ (Gebiets-Nr.: 2210723000055) bzw. „Kaisheim, M“ (Gebiets-Nr.: 2210723100031) in einer Entfernung von ca. 2,2 km bzw. 4,3 km südwestlicher bzw. südöstlicher Richtung zum Untersuchungsareal.

### 3.3 **Untergrundverhältnisse**

Das Untersuchungsgebiet liegt aus geologischer Sicht im Bereich der Bunten Trümmermassen des Rieskraterereignisses (Tertiär, vgl. Anlage 1.2). Diese bestehen aus glasfreien Impaktbreccien, welche sich vorwiegend aus Sedimentgesteinen und dislozierten Schollen zusammensetzen.

Die oberflächennahe Untergrundsituation des Untersuchungsareals setzt sich entsprechend vorangegangener Aufschlussbohrungen im Umfeld des Geländes aus quartären Ablagerungen (Lößauflage) aus tonigen Schluffen sowie teilweise schluffigen Tonen mit stark differierenden Mächtigkeiten zusammen. Im Liegenden befinden sich die Bunten Trümmermassen des Riesauswurfereignisses. Bei diesen Böden handelt es sich um ein unregelmäßiges Gemisch unterschiedlichster Bodenzusammensetzungen, die im Zuge eines Meteoriteneinschlages chaotisch aus dem heutigen Bereich des Nördlinger Ries ausgeworfen und im Umland abgelagert wurden. Die Zusammensetzung und Mächtigkeit (10 - 50 m) der verschiedenen Bodenschichten können auf kurze Distanzen sehr stark variieren. Auch sind Felsauswürflinge größerer Kubatur bekannt. Es können Wechselfolgen aus Schluffen, Tonen, Feinsanden und untergeordnet auch Kiesen anstehen. Zur Tiefe liegen die Auswurfmassen über Kalksteinen des Weißjuras auf.

Das Untersuchungsgebiet gehört zum hydrogeologischen Teilraum des Nördlinger Rieses. Aus Voruntersuchungen im Umfeld des Standorts ist bekannt, dass kein zusammenhängender, oberflächennaher Grundwasserleiter vorhanden ist. Je nach topographischer und räumlicher Situation können in der Bunten Breccie Schichtwasservorkommen unterschiedlicher Mächtigkeit und räumlicher Ausprägung auftreten.

Ein zusammenhängender Grundwasserkörper (Weißer Jura / Malmkarst) wird erst ab Tiefen von ca. 33 m u. GOK erwartet (vgl. Grundwassermessstelle Kaisheim W3 (Messstellen-Nr.: 8290, ca. 2,0 km nördlich). Das Grundwasservorkommen ist damit von einer mächtigen Schicht aus schwach bis sehr schwach durchlässigen Deckschichten überlagert.

Aus der topographischen Situation des Grundstücks geht hervor, dass eine nach Norden bzw. Nordosten gerichtete Fließrichtung evtl. vorhandener Schichtwasservorkommen vorliegen sollte. Damit würde das Schichtwasser der Entwässerung des o. g. Grabens folgen.

Gemäß den Angaben des Umweltatlas Bayern liegt die mittlere Grundwasserneubildungsrate am Standort zwischen 200 und 250 mm/a (Zeitraum: 1971 – 2000).

Die oben beschriebenen Untergrundverhältnisse haben sich im Rahmen der Untersuchung weitestgehend bestätigt.

### **3.4 Historische Standortnutzung**

Die Auswertung einer historischen Karte (Uraufnahme 1808 - 1864) zeigt, dass das Gelände in diesem Zeitraum forstwirtschaftlich genutzt wurde.

Auch historische topographische Karten aus den Jahren 1910, 1953 und 1988 zeigen, dass das Gebiet forstwirtschaftlich genutzt wurde. Eine andere Nutzung ist aus der Auswertung historisch topographischer Karten nicht ersichtlich.

Über eventuell durchgeführte Boden- oder Grundwasseruntersuchungen ist nichts bekannt.

## **4. Literatur- und Datenrecherche**

### **4.1 Ausgangslage**

Die Bestattung von Kremationsaschen in entsprechend ausgewiesenen Wäldern gerät in den letzten Jahre mehr und mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Im Zentrum der Diskussion stehen oftmals die ökologischen Folgen der Verbringung der Kremationsaschen sowie deren Inhaltsstoffe in Waldökosysteme. Als besonders kritisch erweisen sich hierbei die im Körpergewebe eines Menschen eingelagerten Schwermetalle. Weiterhin ist eine Schwermetallanreicherung der Asche im Zuge des Kremationsvorganges, insbesondere aus Materialverlusten der anlagentechnischen Ausstattung (v. a. Drehplatte) der Kremationsöfen sowie den Hölzern der Särge in Betracht zu ziehen. In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte von ökologisch relevanten (Schwer-) Metallen von Totenaschen aus 11 Krematorien dargestellt [4].

Tab. 1: Mittelwerte der (Schwer-) Metallanalysen von Totenasche aus 11 Krematorien [4]

Element	Mittelwert [mg/kg]	Höchstwert [mg/kg]
Kupfer	156	--
Zink	810	-
Cadmium	< 20 <sup>1)</sup>	-
Zinn	23	-
Blei	35	-
Zirkonium	29	-
Arsen	< 60 <sup>1)</sup>	-
Antimon	30	-
Chrom	435	4.000
Chrom VI	75	290
Molybdän	16	-
Wolfram	15	-
Mangan	2.852	11.000
Kobalt	20	-
Nickel	163	900
<sup>1)</sup> unter der Nachweisgrenze		

Kremationsasche weist zudem einen stark basischen pH-Wert auf. Ein modifizierter Boden-pH-Wert kann potentiell die natürlichen Bodenreaktionen verändern aber auch Veränderungen der Zusammensetzung der Bodenfauna nach sich ziehen.

## 4.2 Bodenschutzrechtliche Betrachtung

Das Bundes-Boden-Schutzgesetz (BBodSchG, 1998) zielt darauf ab, schädliche Bodenveränderungen abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) konkretisiert die darin vorgesehenen Maßgaben.

Das Entstehen von schädlichen Bodenveränderungen nach § 7 BBodSchG ist u. a. zu besorgen, wenn Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschreiten.

Tab. 2: Vorsorgewerte für Metalle gem. BBodSchV bezogen auf Bodenart  
Lehm/Schluff

Element	Vorsorgewert [mg/kg]
Blei	70
Cadmium	1
Chrom	60
Kupfer	40
Quecksilber	0,5
Nickel	50
Zink	150

Aus der oben dargestellten Tabelle ist ersichtlich, dass, abgesehen vom Parameter Blei, die Schwermetallgehalte der Kremationsaschen aus Tab. 1 die Vorsorgewerte gem. BBodSchV deutlich überschreiten.

In § 11 Abs. 1 BBodSchV wird dargelegt, dass im Falle eines Überschreitens der Vorsorgewerte eines Parameters eine Zusatzbelastung bis zur Höhe der in Anhang 2 Nr. 5 festgesetzten jährlichen Frachten des Schadstoffes zulässig sind. Dabei sind die Einwirkungen auf den Boden über Luft und Gewässer sowie durch unmittelbare Einträge zu beachten.

Die Vorsorgewerte in Anhang 2 Nr. 4 umfassen u. a. die Parameter Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink. An dieser Stelle sei angemerkt, dass Quecksilber in Totenaschen nicht nachweisbar ist und deshalb im Weiteren nicht weiter betrachtet wird.

Tab. 3: Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen [2]

Element	Fracht [g/ha x a]
Blei	400
Cadmium	6
Chrom	300
Kupfer	360
Nickel	100
Zink	1.200

Die oben angeführten Parameter werden im Folgenden als Leitparameter angewandt.

### 4.3 Frachtberechnung

Die Berechnung der zulässigen zusätzlichen jährlichen Frachten an Schadstoffen erfolgt gem. BBodSchV Anhang 2 Nr. 5 über die folgende Formel:

$$\frac{g}{ha \times a}^1$$

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Einwirkungen auf den Boden über die Luft, durch Gewässer sowie durch unmittelbare Einträge erfolgen können. Im vorliegenden Fall ist ein Eintrag von Schadstoffen durch Gewässer aufgrund der topographischen Lage des Geländes nicht relevant. Der Eintrag von Schadstoffen über atmosphärische Deposition (Luftpfad) hingegen ist zu berücksichtigen. Hierzu wurden die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) veröffentlichten Hintergrundwerte der atmosphärischen Deposition als Datengrundlage verwendet. Zur Berechnung der Deposition wurde für die in Tabelle 2 dargestellten Parameter jeweils das arithmetische Mittel aus dem Jahresmittelwert aller verfügbaren Station der Jahre 1999 bis 2016 gebildet. Folgende Hintergrundbelastungen wurden für den Luftpfad ermittelt

Tab. 4: Jährliche Hintergrundbelastung an Schwermetallen über atmosphärische Deposition [5].

Element	atmosphärische Deposition [g / ha x a]
Blei	7,5
Cadmium	0,2
Chrom	2,5
Kupfer	10,8
Nickel	2,6
Zink	73,8

<sup>1</sup> g = Gramm; ha = Hektar; a = Jahr

Zur Berechnung der Fracht für die relevanten Schadstoffe wird jeweils der Mittelwert der Schadstoffkonzentration der Totenasche aus Tab. 1 mit dem durchschnittlichen Gewicht von Totenasche nach der Einäscherung (3 kg) multipliziert. Dies ergibt den jeweiligen Schadstoffgehalt pro Urne. Anschließend wird zur Berechnung der Anzahl der potenziell einbringbaren Urnen jeweils die jährliche Hintergrundbelastung durch atmosphärische Deposition eines Schadstoffes (Tab. 4) von der jeweils zulässigen zusätzlichen jährlichen Fracht (Tab. 3) abgezogen und durch den Schadstoffgehalt pro Urne dividiert<sup>2</sup>. Dementsprechend wurden für jeden Schadstoff folgende Anzahl der potenziell einbringbaren Urnen ermittelt:

Tab. 5: Anzahl potenziell einbringbarer Urnen pro Schadstoff

Element	Anzahl möglicher Urnen [Stückzahl / ha x a]
Blei	3.738
Cadmium <sup>3</sup>	102
Chrom	228
Kupfer	746
Nickel	199
Zink	463

Zur letztendlichen Festlegung wie viele Urnen potenziell einbringbar sind, ist aus bodenschutzrechtlichen Vorsorgegründen das strengste Gütemaß anzulegen. Aus Tab. 2 geht hervor, dass im vorliegenden Fall Cadmium als maßgebender Parameter heranzuziehen ist und dementsprechend aus bodenschutzrechtlicher Sicht pro Hektar und Jahr **102 Urnen** im Bereich des geplanten Bestattungswaldes eingebracht werden dürfen.

## 5. Durchgeführte Untersuchungen

Die Geländearbeiten fanden am 12.07.2018 statt. Zur Entnahme und Gewinnung der erforderlichen Bodenproben wurden insgesamt 5 Kleinrammbohrungen KRB01 – KRB05 mittels vollhydraulischem Rammkernbohrgerät im schlagenden Bohrverfahren (DN 60/50) abgeteuft.

<sup>2</sup> Berechnungsbeispiel für den Parameter Kupfer:

$$156 \left[ \frac{mg}{kg} \right] * 3 [kg] = 468 [mg] = 0,468 [g]$$

$$\frac{360 \left[ \frac{g}{ha \times a} \right] - 10,8 \left[ \frac{g}{ha \times a} \right]}{0,468 [g]} = 746 \left[ \frac{Stück}{ha \times a} \right]$$

<sup>3</sup> Hinweis: Die Berechnung erfolgte unter der sehr konservativen Annahme einer mittleren Schadstoffkonzentration von 19 mg/kg, also einem Wert knapp unterhalb der Bestimmungsgrenze des Parameters.

Vor der Erkundung wurden die Bohransatzpunkte durch einen geschulten und zugelassenen Kampfmittelexperten gem. § 20 SprengG freigemessen (vgl. Anlage 5). Ein Bohransatzpunkt (KRB03) wurde gezielt im topographisch tiefst gelegenen Bereich festgelegt, um eine Worst-Case Betrachtung hinsichtlich des potentiellen Grundwasserstandes anstellen zu können. Alle weiteren Bohransatzpunkte wurden in den für die Bohrlafette zugänglichen Bereichen des Areals rasterförmig verteilt. Die Lage der Sondierungen ist aus dem Lageplan in Anlage 1.3 zu entnehmen.

Aufgrund der Lagerungsdichte des Untergrundes war bei den Bohrungen KRB01, KRB03, KRB04 und KRB05 in unterschiedlichen Tiefenstufen kein Bohrfortschritt mehr möglich.

Die Beprobung des Bodens erfolgte meterweise bzw. bei Schichtwechsel oder Auffälligkeiten. Hierbei wurde auf eine strikte Trennung von Proben aus den unterschiedlichen Horizonten geachtet. Es wurden insgesamt 34 Bodeneinzelproben entnommen. Die Bodenproben wurden fachgerecht in 500 ml Braungläser verfüllt.

Zur Beprobung der Humusaufgabe wurden 2 Teilflächen (TF) gebildet und je TF eine repräsentative Flächen-Mischprobe gebildet. Je Flächen-Mischprobe wurden 20 Einzeleinstiche mittels Edelstahlkelle vorgenommen. Die Einstiche wurden rasterförmig über die jeweilige TF verteilt. Die Bodenproben wurden jeweils fachgerecht in 5.000 ml PE-Eimer verfüllt. Die Beprobungstiefen wurden entsprechend der Aufgabenstellung in eine Tiefe bis 0,05 m u. GOK gewählt.

Der Schichtenaufbau und die sensorisch-organoleptische Bohrgutansprache des aufgeschlossenen Bodenmaterials im Hinblick auf visuelle und geruchliche Auffälligkeiten wurden durch die Mitarbeiter vor Ort in Schichtenverzeichnissen dokumentiert. Die entsprechenden Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile nach DIN EN ISO 14688 sind in Anlage 2 bzw. 3 zusammengestellt. Die entsprechenden Probenahmeprotokolle sind in Anlage 4 zusammengestellt.

Die Bodenproben wurden dunkel und gekühlt an das DAkkS akkreditierte Labor Eurofins nach Freiberg überstellt.

## 5.1 Analysenumfang

Der Horizont von 0,8 bis 1,0 m u. GOK der Sondierungen KRB01 und KRB02 wurde im Labor zur Mischprobe MP-1 0,8-1,0 zusammengeführt. MP-2 0,8-1,0 wurde aus dem Horizont von 0,8 bis 1,0 m u. GOK der Sondierungen KRB03, KRB04 und KRB05 zusammengestellt.

Die zur Analyse zusammengestellten Proben wurden herangezogen, um geeigneten Hintergrundgehalt der relevanten Schwermetalle, in der relevanten Untersuchungstiefe am Standort zu erfassen. Zur Bestimmung des natürlichen Puffervermögens dieses Horizonts wurde zudem die Säureneutralisationskapazität (SNK), der pH-Wert und der Humus-Gehalt der Mischproben analysiert.

Beide Proben wurden jeweils im Feinkorn < 2 mm untersucht. Nicht analysierte Bodenproben wurden im Labor fachgerecht zurückgestellt.

Das gesamte Analysenprogramm ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 6: Zusammenstellung Analysenprogramm

Bezeichnung Laborprobe	Laborprobe bestehend aus	Analysenprogramm
MP-1 0,8-1,0	KRB01 0,8-1,0 KRB02 0,8-1,0	Schwermetalle: Pb, Cd, Cr, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn TOC, Humusgehalt, pH-Wert, SNK
MP-2 0,8-1,0	KRB03 0,8-1,0 KRB04 0,8-1,0 KRB05 0,8-1,0	Schwermetalle: Pb, Cd, Cr, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn TOC, Humusgehalt, pH-Wert, SNK

Die Laborprüfberichte mit vollständigen Analysenergebnissen sind im vorliegenden Untersuchungsbericht in Anlage 7 zusammengestellt.

## 6. Untersuchungsergebnisse

### 6.1 Untergrund

Im Rahmen der Erkundung wurde im Bereich der Untersuchungsfläche folgender genereller Schichtenaufbau festgestellt (vgl. Anlage 2 und 3).

#### Mutterboden

Auf der Untersuchungsfläche ist ein im Mittel ca. 0,35 m mächtiger Mutterbodenhorizont vorhanden. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um weiche, stark feinsandige, Schluffe. Als akzessorische Beimengungen wurden Haarwurzeln festgestellt. Diese sind größtenteils mit einer ca. 0,05 m starken Streuschicht überdeckt.

#### Bunte Breccie

Im Liegenden des Mutterbodenhorizonts folgen die Schichten der Bunten Breccie aus tonigen Schluffen sowie in die Tiefe aus schluffigen Tonen mit wechselnden Anteilen an Feinsanden (meist schwach feinsandig). Hinsichtlich der Konsistenz weist diese Schicht im Wesentlichen steife bis halbfeste Eigenschaften auf. Mit der Tiefe weist der Boden mehr und mehr eine feste Konsistenz und eine hohe Lagerungsdichte auf.

Schicht- oder Grundwasservorkommen wurden in keiner Bohrung aufgeschlossen.

## 6.2 Organoleptische Befunde

Alle entnommenen Bodenproben waren organoleptisch unauffällig. Die Proben waren weder auffällig verfärbt, noch waren Schlieren o. ä. vorhanden. Es waren keine Fremdgerüche nach z. B. Kohlenwasserstoffen, Lösemitteln oder anderen Substanzen feststellbar.

## 6.3 Analyseergebnisse Wirkungspfad Boden - Grundwasser - Bodeneinzelproben

Die Ergebnisse der an den Bodeneinzelproben durchgeführten, chemischen Untersuchungen ist in der nachfolgenden Tabelle 11 zusammengestellt. Die entsprechenden Laborprüfberichte sind in Anlage 7 beigefügt.

Tab. 7: Zusammenstellung Analyseergebnisse Bodeneinzelproben

Laborprobe	Analysenprogramm	Analyseergebnisse
MP-1 0,8-1,0	Schwermetalle: Pb, Cd, Cr, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn TOC, pH-Wert, SNK	Pb: 48 mg/kg Cd: < 0,2 mg/kg Cr: 49 mg/kg Cr: VI: 0,6 mg/kg Cu: 20 mg/kg Hg: < 0,07 mg/kg Ni: 44 mg/kg Zn: 75 mg/kg TOC: 0,4 % TS Humusgehalt: 0,7 % TS pH-Wert: 5,1 SNK: 40 mmol/kg TS
MP-2 0,8-1,0	Schwermetalle: Pb, Cd, Cr, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn TOC, pH-Wert, SNK	Pb: 23 mg/kg Cd: < 0,2 mg/kg Cr: 54 mg/kg Cr: VI: 0,5 mg/kg Cu: 18 mg/kg Hg: < 0,07 mg/kg Ni: 41 mg/kg Zn: 79 mg/kg TOC: 0,2 % TS

Laborprobe	Analysenprogramm	Analyseergebnisse
		Humusgehalt: 0,3 % TS pH-Wert: 6,1 SNK: 46 mmol/kg TS

Die ermittelten Gehalte der Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom VI (Cr VI) Quecksilber (Hg) und Zink (Zn) liegen im Konzentrationsbereich der geogenen Hintergrundbelastung für den Raum Donauwörth (vgl. [6]). Lediglich für die Parameter Chrom (Cr) und Nickel (Ni) wurden Gehalte leicht über den geogenen Hintergrundwerten ermittelt. Die festgestellten Konzentrationen an Schwermetallen können zukünftig als Referenz bzw. Status-Quo für den Standort herangezogen werden.

Beim vorliegenden analysierten Bodenmaterial wurde ein neutrales bis schwach saures pH-Milieu festgestellt. Die analysierten Werte für den Parameter Säureneutralisationskapazität liegen in den untersuchten Bodenproben in einem für kalkarme Bodentypen üblichen Bereich. Die TOC-Werte und die Humusgehalte der beiden Proben stellen typische Werte für einen B-Horizont unter einer Waldbodenaufgabe dar.

## 7. Gefährdungsbeurteilung

### 7.1 Bewertung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer

Zusammenfassend ergeben sich aus der Auswertung der Untersuchungsergebnisse und deren Bewertung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser die in den folgenden Unterkapiteln dargestellten Schlussfolgerungen.

### 7.2 Quellterm

Den Quellterm im Sinne des Bodenschutzrechts stellen im vorliegenden Fall Schwermetalleinträge durch die Verbringung von Kremationsaschen in den Untergrund dar. Es ist geplant die Kremationsaschen in biodegradierbaren Urnen in einer Tiefe bis max. 0,8 m u. GOK einzubringen. Der Quellterm würde somit nur oberflächennah im Untergrund vorliegen.

Die potentiellen Konzentrationen sind der Tab. 1 zu entnehmen. Der Eintrag von Schwermetallen in einen Grundwasserkörper erfolgt je nach Schwermetall entweder gelöst im Sickerwasser oder an Partikel gebunden.

### **7.3 Eigenschaften und Verfügbarkeit der Stoffe**

Einige Schwermetalle sind in geringen Mengen (Spurenelemente wie z. B. Kupfer, Zink, Mangan) lebensnotwendig, führen aber in höheren Konzentrationen zu Wachstums- und Stoffwechselstörungen bei Organismen. Die toxische Wirkungsschwelle liegt in vielen Fällen nur wenig oberhalb der geogenen Hintergrundkonzentration, so dass sich Schutzmaßnahmen teilweise an diesen orientieren.

Schwermetalle sind als chemische Elemente in der Umwelt nicht abbaubar. Die Konzentrationen in der Umwelt sind meist so gering, dass keine akuten Giftwirkungen auftreten. Dagegen sind langfristige, chronische Giftwirkungen dann zu erwarten, wenn einzelne Schwermetalle in die Nahrungskette gelangen und sich in Lebewesen anreichern können.

Die Mobilität und Verfügbarkeit von Schwer- und Halbmetallen in Böden hängt von zahlreichen Faktoren ab: chemische Bindungsform, pH-Wert, pedogenen Oxiden, Redoxpotential, Gehalt von organischen Kohlenstoffverbindungen und Tonmineralien in Böden, Anwesenheit von Komplexbildnern usw.

Aufgrund der ermittelten Werte für die Parameter TOC- und Humusgehalt, pH-Wert und SNK kann eine Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus der Bodenmatrix am Standort des geplanten Bestattungswaldes nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

### **7.4 Transport, Retention und Abbau**

Ein Zutritt von Oberflächen- und Sickerwasser in den Untergrund und im Bereich der Urnen ist möglich, da keine Versiegelung in diesen Bereichen geplant ist.

Unterhalb der Urnen befinden sich die Schichten der Bunten Breccie aus tonigen Schluffen sowie in die Tiefe aus schluffigen Tonen mit wechselnden Anteilen an Feinsanden (meist schwach feinsandig). Hinsichtlich der Konsistenz weist diese Schicht im Wesentlichen steife bis halbfeste Eigenschaften auf. Mit der Tiefe weist der Boden mehr und mehr eine feste Konsistenz und eine hohe Lagerungsdichte auf. Eine Verlagerung von Schwermetallen in tiefere Bodenhorizonte über Sickerwasser ist aufgrund der Bodenzusammensetzung und -beschaffenheit schwer möglich.

Es liegt kein zusammenhängender, oberflächennaher Grundwasserleiter vor. Allerdings können je nach topographischer und räumlicher Situation Schichtwasservorkommen möglich sein. Ein zusammenhängender Grundwasserkörper wird erst ab Tiefen von ca. 33 m u. GOK erwartet. Die örtliche Grundwasserüberdeckung wird daher insgesamt als hoch eingeschätzt.

In einer Studie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg. [3] wurde untersucht, ob in Böden unterhalb von Bestattungsplätzen von Ruhewäldern erhöhte Schwermetallgehalte feststellbar sind und ob diese auf die verbrachten Kremationsaschen zurückgeführt werden können. In der Studie wurde aufgezeigt, dass in den Zeiten nach der Bestattung (zwischen 8 und 13 Jahren) keine messbare Verlagerung von Schwermetallen aus der Kremationsasche in den darunter liegenden Boden stattgefunden hat. Daraus wurde geschlossen, dass eine Verlagerung von Schwermetallen über Sickerwasser in das Grundwasser unwahrscheinlich ist, so lange die Urnenstellen nicht durch alternierende Grundwasserspiegel mit dem Grundwasser direkt in Kontakt kommen.

Die Standortbedingungen der 3 untersuchten Friedwälder hinsichtlich des Untergrundes sind vergleichbar mit den Standortbedingungen für den geplanten Bestattungswald in Donauwörth. Daher ist auch für den Untergrund im Bereich des geplanten Friedwaldes Donauwörth zu erwarten, dass die nicht unerhebliche Pufferfunktion des Bodens einer vertikalen Verlagerung von Schwermetallen stark entgegen wirkt. 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.

## 7.5 Fazit

Zusammenfassend ist anhand der gewonnenen Untersuchungsergebnisse und der Standortverhältnisse festzuhalten, dass zukünftig für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung durch die geplante Nutzung keine Prüfwertüberschreitung hinsichtlich der untersuchten Parameter zu erwarten ist.

## 8. Zusammenfassung und Maßnahmenempfehlungen

Im Zusammenhang mit der geplanten Anlage eines Bestattungswaldes auf den Flurstücken 2583 und 2579 der Gemarkung Donauwörth wurden bodenschutzrechtliche Untersuchungen durchgeführt.

Die ermittelten Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom VI, Quecksilber und Zink liegen im Konzentrationsbereich der geogenen Hintergrundbelastung für den Raum Donauwörth. Lediglich für die Parameter Chrom und Nickel wurden Gehalte leicht über den geogenen Hintergrundwerten ermittelt. Die festgestellten Konzentrationen an Schwermetallen können zukünftig als Referenz bzw. Status-Quo für den Standort herangezogen werden.

Beim vorliegenden analysierten Bodenmaterial wurde ein neutrales bis schwach saures pH-Milieu festgestellt. Die analysierten Werte für den Parameter Säureneutralisationskapazität liegen in den untersuchten Bodenproben in einem für kalkarme Bodentypen üblichen Bereich.

Die TOC-Werte und die Humusgehalte der beiden Proben stellen typische Werte für einen B-Horizont unter einer Waldbodenaufgabe dar. Aufgrund der ermittelten Werte für die Parameter TOC- und Humusgehalt, pH-Wert und SNK kann eine Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus der Bodenmatrix am Standort des geplanten Bestattungswaldes nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Allerdings ist zu erwarten, dass der Untergrund im Bereich des geplanten Bestattungswaldes aufgrund der Bodenzusammensetzung und -beschaffenheit eine nicht unerhebliche Pufferfunktion aufweist und damit einer vertikalen Verlagerung von Schwermetallen stark entgegen wirkt. 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. Zudem wird der vermutete örtliche Grundwasserflurabstand bei ca. 33 m u. GOK erwartet. Die vorliegende Bunte Breccie stellt daher einen starken Schutz gegenüber potentiellen Einträgen in den örtlichen Grundwasserkörper dar.

Zusammenfassend ist anhand der gewonnenen Untersuchungsergebnisse und der Standortverhältnisse festzuhalten, dass zukünftig für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung durch die geplante Nutzung keine Prüfwertüberschreitung hinsichtlich der untersuchten Parameter zu erwarten ist.

Zur letztendlichen Festlegung wie viele Urnen potenziell einbringbar sind, ist aus bodenschutzrechtlichen Vorsorgegründen das strengste Gütemaß anzulegen. Im vorliegenden Fall ist Cadmium als maßgebender Parameter heranzuziehen. Dementsprechend dürfen aus bodenschutzrechtlicher Sicht pro Hektar und Jahr **102 Urnen** im Bereich des geplanten Bestattungswaldes eingebracht werden.

Zur Verbesserung der Sorptions- und Rückhalteprozesse gegenüber Schwermetallen wird empfohlen, eine dünne Schicht (ca. 0,1 bis 0,2 m) Humus oder Kalk unterhalb der Einbringungsorte der Urnen zu verteilen.

Sollten zukünftig Monitoringmaßnahmen geplant sein, ist einerseits ein aktives Probenahmeverfahren analog zu [3] denkbar, andererseits könnte eine passive und damit äußerst pietätvolle Untersuchungsstrategie z. B. über das Verfahren der Dendrochronologie der umgebenden Bäume durchgeführt werden.

## 9. Verwendete Unterlagen

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG; in Kraft seit dem 03/1999).
- [2] Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV; in Kraft seit dem 17.07.1999).

- [3] Untersuchungen von Bodenproben aus verschiedenen Friedwaldstandorten. Prof. Dr. Friederike Lang, Dipl.-Ing. Markus Graf. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg. (07/2015).
- [4] Die Totenasche – ein Problemfall für den Bodenschutz? Dipl.-Agrarbiologe Josef Herrmann, Manfred J. Klemisch. Fachzentrum Analytik Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (05/2015).
- [5] Hintergrundwerte der atmosphärischen Deposition. Jahresmittelwerte 1999 - 2016 (Stand 07/2017).
- [6] Hintergrundwerte von anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden Bayerns – Vollzugshilfe für den vorsorgenden Bodenschutz mit Bodenausgangsgesteinskarte von Bayern 1:500.000 (Stand 03/2011).
- [7] Merkblatt Nr. 3.8/1 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft: Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer (Stand 10/2001).
- [8] Merkblatt Nr. 3.8/4 des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz: Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer (Stand: 11/2017).
- [9] Merkblatt Nr. 3.8/5 des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz: Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer (Stand: 04/2017).

HPC AG

i. A.



Thomas Obel  
M. Sc. Umweltsysteme  
und Nachhaltigkeit

i. A.



Christian Hein  
B Sc. Geoökologie