

## Messbericht


### - Deponie AM FROSCHGRABEN -

Projekt - Nr.: HE001-04.1 (Darmstadt, Kerntechnische Beratung AVL)

**Auftraggeber:** Ökoinstitut e.V.  
Herr Christian Küppers  
Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt

**Verfasser:** NCC Nuclear Control & Consulting GmbH  
Hinter dem Turme 24  
38114 Braunschweig

**Bearbeiter:** Christian Ahrens (MSc. Geoökologe)  
Dr. Rainer Gellermann (Dipl. Phys.)

**Bestätigt:**   
.....  
Dr. Rainer Gellermann  
Abteilungsleiter Radioökologie / Strahlenschutz

**Datum:** Braunschweig, 15.11.2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>1        Anlass und Aufgabenstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>2        Eingesetzte Messgeräte .....</b>	<b>4</b>
<b>3        Messungen der Ortsdosisleistung (ODL) .....</b>	<b>4</b>
3.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	4
3.2    Messergebnisse .....	6
<b>4        Messung von Gammaspektren .....</b>	<b>7</b>
4.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	7
4.2    Messergebnisse .....	9
<b>5        Untersuchung von Bodenproben .....</b>	<b>11</b>
5.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	11
5.2    Messergebnisse .....	12
<b>6        Untersuchung von Sickerwasserproben .....</b>	<b>14</b>
6.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung der Probenahme .....	14
6.2    Messergebnisse .....	15
<b>7        Quellen .....</b>	<b>17</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Ortszentrum Schwieberdingen mit Messgebiet (Kreis) auf dem „Schlosshof“. Quelle: Google Maps (2016). .....	5
Abbildung 4-1: Gammaspektrometer mit Stativ zur Einstellung einer definierten Messhöhe von 1 m..	7
Abbildung 4-2: Gemessene Gammaspektren der Ablagerungsflächen (#157, #158, #159, #161) und Gammaspektrum des Hauptplatzes auf dem Schlosshof der Gemeinde Schwieberdingen (#155) nach Abzug des Referenzboden Gammaspektrums #160, Boden NW (RefBod). .....	9
Abbildung 5-1: Bodenproben aus 5 cm Schichten des insgesamt 30 cm Tiefenprofils, Probenreihe FG Boden NO. ....	11

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Zusammenfassung der Raster-ODL-Messungen auf der Deponie AM FROSCHGRABEN.....	6
Tabelle 3-2:	Erhobene ODL-Messwerte auf dem „Schlosshof“ in Schwieberdingen. Die Bereiche mit der Zuordnung der Versiegelungsmaterialien ist in Anlage 1.3 aufgeführt. ....	6
Tabelle 4-1:	Datengrundlagen und Auswertungen von Peak-Summen (PS).....	8
Tabelle 4-2:	Ergebnisse der Spektrenauswertung – Natürliche Radionuklide .....	10
Tabelle 4-3:	Ergebnisse der Spektrenauswertung – Indikator nuklide Cs-137, Co-60.....	10
Tabelle 5-1:	Ergebnisse der gammaspektrometrischen Untersuchung an Feststoffproben [Bq/g].	12
Tabelle 5-2:	Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordosten der Deponie (Boden NO).....	13
Tabelle 5-3:	Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordwesten der Deponie (Boden NW).....	13
Tabelle 6-1:	Sickerwasserproben mit Zuordnung der jeweiligen Deponiebereiche. ....	14
Tabelle 6-2:	Ergebnisse der Laboruntersuchungen Sickerwässern der Deponie AM FROSCHGRABEN.....	15
Tabelle 6-3:	Werte zur Beurteilung von Radionukliden im Wasser .....	17

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Tabellen, Skizzen und Nachweise zu ODL-Messungen
Anlage 1.1:	Unterlagen zum Messvergleich des Bundesamtes für Strahlenschutz
Anlage 1.2:	ODL-Messungen auf der Deponie AM FROSCHGRABEN
Anlage 1.3:	ODL-Messungen im öffentlichen Raum
Anlage 1.4:	ODL-Messungen an Bodenflächen
Anlage 2:	Planunterlagen (durch AVL zur Verfügung gestellt)
Anlage 2.1:	Lageplan der Deponie AM FROSCHGRABEN mit verzeichneten Messpunkten
Anlage 2.2:	Leitungsnetzpläne der Sickerwasserdrainagen und –sammler der Deponie AM FROSCHGRABEN
Anlage 3:	Protokolle der Bodenuntersuchungen und der gammaspektrometrischen Felduntersuchungen
Anlage 3.1:	Protokoll der bodenkundlichen Untersuchung
Anlage 3.2:	Auswertung der gammaspektrometrischen Felduntersuchungen
Anlage 4:	Prüfberichte Laboruntersuchungen
Anlage 4.1:	Prüfbericht 161019-01 vom 02.11.2016, IAF Radioökologie, Feststoffproben
Anlage 4.2:	Prüfbericht 2845.1Rev1 vom 14.11.2016, VKTA Rossendorf, Sickerwasser- und Drainage-Wasserproben

# 1 Anlass und Aufgabenstellung

Auf der Deponie AM FROSCHGRABEN, betrieben von der Abfallverwertungsgesellschaft Ludwigsburg mbH (AVL), wurden in den Jahren von 2007 bis 2015 zielgerichtet freigemessene Abfälle aus dem Rückbau des früheren Kernforschungszentrums Karlsruhe abgelagert. Im Zusammenhang mit der diesbezüglichen kommunalpolitischen Diskussion sollen durch Messungen die Auswirkungen dieser Ablagerungen auf das Wohl der Allgemeinheit am jeweiligen Deponiestandort ermittelt werden. NCC wurde dazu als Nachauftragnehmer des Öko-Instituts e. V. mit der Vorbereitung und Durchführung von Messungen beauftragt.

Auf der Grundlage eines, mit der AVL und dem Institut für Umwelttechnologien und Strahlenschutz GmbH (iUS) als Berater der Gemeinde Schwieberdingen, erarbeiteten Mess- und Untersuchungskonzeptes, wurden am 13.10.2016 auf der Deponie AM FROSCHGRABEN Probenahmen und messtechnische Untersuchungen Vor-Ort ausgeführt. Der vorliegende Bericht beschreibt die dabei erhaltenen Ergebnisse sowie die zugehörigen Ergebnisse der Laboranalytik.

## 2 Eingesetzte Messgeräte

Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung (Ortsdosisleistung  $H^*(10)$ , ODL) wurden mit dem Dosisleistungsmessgerät 6150 AD6/E (Ser.-Nr.: 82989) mit Sonde 6150 AD-b/E (Ser.-Nr.: 133613) (Hersteller Automess GmbH) durchgeführt. Das Messgerät ist für den Niedrigdosisbereich kalibriert und wird durch regelmäßige Kontrollmessungen im Messvergleich des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) überprüft (s. Anlage 1.1).

Die In-Situ-Gammaspektrometrie wurde mittels tragbarem Gammaspektrometer RIIDEye X-G (Ser.-Nr.: 10392, Hersteller: Thermo Scientific), das mit einem 2x2" NaI-Detektor ausgestattet ist, ausgeführt. Das Gerät enthält einen internen K-40 Kalibrierstrahler zur Energielinienkalibrierung. Das RIIDEye verfügt über eine Datenschnittstelle, über die die Messdaten aus dem Gerät ausgelesen werden können.

## 3 Messungen der Ortsdosisleistung (ODL)

### 3.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept

- a. ODL-Messung an ausgewählten Referenzpunkten auf dem Abfallkörper.
- b. Ortsdosisleistung Boden im öffentlichen Raum (insbesondere Marktplatz Schwieberdingen)

### Vor-Ort-konkretisierte Messaufgaben:

zu a.: Prüfung des Strahlungsfeldes auf überdeckten Ablagerungsflächen, auf denen Freigabeabfälle („Rückbau Abfälle“) eingebaut sind. Die Koordinaten dieser Flächen wurden im Vorfeld von einem durch AVL beauftragten Vermessungsbüro (Geoplana) eingemessen (s. Anlage 2.1).

zu b.: Aufgrund der Feststellung, dass ein so bezeichneter „Marktplatz“ in Schwieberdingen nicht existiert, wurde der „Schlosshof“ vor dem Rathaus als Messort ausgewählt (vgl. Abbildung 3-1). Der Schlosshof befindet sich im Zentrum der Ortschaft und ist öffentlich zugänglich. Angrenzende Gewerbetreibende nutzen den Schlosshof z.T. als Parkplatz oder in Teilbereichen als gastronomische Außenflächen. Samstags findet auf dem Schlosshof der Schwieberdinger Wochenmarkt statt (Quelle: Webseite Gemeinde Schwieberdingen, abgerufen Oktober 2016).

### Durchführung

Zur Ermittlung der Ortsdosisleistung (ODL) wurden auf der Deponie AM FROSCHGRABEN die überdeckten Ablagerungsflächen der „Rückbau Abfälle“, deren Lage im Auftrag von AVL eingemessen wurde (s. Anlage 2.1), mit ODL-Messungen in einem regelmäßigen Raster kartiert (Rasterlänge 4 m x 4 m, Messhöhe ca. 1 m).

Auf dem Schlosshof der Gemeinde Schwieberdingen wurden die ODL-Messungen als gleitende Messungen durchgeführt. Auf der Hauptfläche (im Bereich von Stellflächen der Marktstände in Abbildung 3-1) wurden bei einer Begehung die ODL-Messwerte in einer Höhe von ca. 1 m beobachtet und der Wertebereich festgestellt. Bei einzelnen Versiegelungsflächen oder Bauteilen (vgl. Messprotokoll Anlage 1.3) wurden mit Messungen in geringem Abstand („Kontakt“) ODL-Werte ermittelt.



**Abbildung 3-1: Ortszentrum Schwieberdingen mit Messgebiet (Kreis) auf dem „Schlosshof“.**  
Quelle. Google Maps (2016).

Im Umfeld der Boden-Probenahmestellen im Nordosten und im Nordwesten der Deponie wurden ODL-Messungen in einem Raster von 4 m x 4 m (Messhöhe ca. 1 m) durchgeführt.

## 3.2 Messergebnisse

Die Messprotokolle der ODL-Messungen sind in

- Anlage 1.2: ODL-Messungen auf der Deponie
- Anlage 1.3: ODL-Messungen im öffentlichen Raum
- Anlage 1.4: ODL-Messungen im Bereich der Bodenflächen

aufgeführt. Die Messergebnisse werden in Nanosievert je Stunde (nSv/h) angegeben.

Aus diesen Daten ergeben sich die in Tabelle 3-1 aufgeführten statistischen Kenngrößen.

**Tabelle 3-1: Zusammenfassung der Raster-ODL-Messungen auf der Deponie AM FROSCHGRABEN.**

Ort der Messung	Anzahl	Minimalwert [nSv/h]	Maximalwert [nSv/h]	Arithm. Mittelwert [nSv/h]
Messungen auf dem Abfallkörper der Deponie				
FG Abl.-Pkt. 1 (1245660)	35	74	99	84
FG Abl.-Pkt. 2 (1245318)	36	82	124	101
FG Abl.-Pkt. 3 (1237787)	25	62	77	67
FG Abl.-Pkt. 4 (1245510)	22	87	122	104
Messungen auf Bodenflächen im Umfeld der Boden-Probenahmestellen				
FG Boden Nordwest	27	103	131	119
FG Boden Nordost	32	112	129	120

Die Messwerte, die auf dem Schlosshof in Schwieberdingen erhoben wurden, sind in Tabelle 3-2 zusammengestellt. Sie variieren in Abhängigkeit von dem jeweiligen Ort der Messung und der Art der dort vorhandenen Versiegelung.

**Tabelle 3-2: Erhobene ODL-Messwerte auf dem „Schlosshof“ in Schwieberdingen. Die Bereiche mit der Zuordnung der Versiegelungsmaterialien ist in Anlage 1.3 aufgeführt.**

Ort der Messung	Messwert [nSv/h]	Anmerkungen
Pflaster Hauptplatz	140-150	Messung Höhe 1 m über Boden
Stufen zum Brunnen	186	Kontaktmessung, Messabstand 5-10 cm
Brunnen Einfassung	135	Kontaktmessung, Messabstand 5-10 cm
Pflaster rot	166	Kontaktmessung, Messabstand 5-10 cm
Pflaster rötlich gelb	143	Kontaktmessung, Messabstand 5-10 cm
Brunneneinfassung grünlicher Fels	76	Kontaktmessung, Messabstand 5-10 cm
Rötlicher Ziegelsplitt	89	Messung Höhe 1 m über Boden



## 4 Messung von Gammaskpektren

### 4.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept

- a. In-Situ-Gamma-Spektrometrie und ODL-Messung an ausgewählten Referenzpunkten auf dem Abfallkörper. Abschätzung der Aktivität nach UNSCEAR-Formel. Prüfung auf künstliche Radionuklide (Cs-137).
- b. Spezifische Aktivität von natürlichen Radionukliden der öffentlichen Plätze und Wege. Abschätzung der Aktivität nach UNSCEAR-Formel.

#### Durchführung

Zur In-Situ-Gammaskpektrometrie wurde das Messgerät RIIDEye mit Hilfe einer Stativeinrichtung so aufgestellt, dass der Detektor in einer Höhe von 1 m über dem Boden positioniert war (Abbildung 4-1). Als Messort wurde jeweils eine möglichst ebene Fläche im direkten Umfeld der durch Geoplane eingemessenen Punkte gewählt. Dadurch wurde eine nahezu einheitliche Geometrie der Messungen sichergestellt. In Begleitung von Mitarbeitern der AVL wurden die jeweiligen Messorte aufgesucht und das Gammaskpektrometer wurde am jeweiligen Standort eingerichtet. Die Messung wurde mit einer voreingestellten Messzeit von 30 Min. (1800 Sek.) gestartet. Die Messdaten wurden im Gerätespeicher abgelegt und im Anschluss an den Messtag aus dem Datenspeicher ausgelesen. Die exakten Messpunkte der Gammaskpektrometrie wurden nach der durchgeführten Messung verpflockt und im Nachgang erneut durch das Vermessungsbüro Geoplane eingemessen (Anlage 2.1).



**Abbildung 4-1: Gammaskpektrometer mit Stativ zur Einstellung einer definierten Messhöhe von 1 m.**

Die Auswertung der gemessenen Spektren erfolgte nach Auslesen des Gerätespeichers und Transfer in das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel. Die weitere Prüfung erfolgte durch die Auswertung von Impulszahlen, die in den Detektionskanälen (256 Kanäle) des Messgerätes registriert wurden. Die geräteinterne Energiekalibrierung wurde dabei nur zur Orientierung verwendet.

Die Festlegung auf für die Nuklididentifikation auszuwertende Energielinien (Peaks) erfolgte nach Maßgabe der Untersuchungsaufgabe für die

- Energielinien zur Abschätzung der Aktivitäten nach der UNSCEAR Formel
- Energielinien zur Identifikation von künstlichen Radionukliden

Die zu bestimmenden Radionuklid-Aktivitäten für die UNSCEAR Abschätzung sind: U-238sec, Th-232sec und K-40. Ausgehend von einem säkularen Gleichgewicht in den jeweiligen Zerfallsreihen, erfolgte die Festlegung der auszuwertenden nuklidspezifischen Energielinien auf gammastrahlende Tochternuklide mit hohen Impulswahrscheinlichkeiten und einer möglichst ungestörten Peaklage. Die Energiefenster wurden gewählt, um Interferenzen mit anderen Gammalinien so gering wie möglich zu halten.

Für eine vergleichbare Betrachtung der jeweiligen Spektren wurden aus den Gesamtimpulsen die Impulsraten nach Gleichung 2 bestimmt.

$$\frac{\text{Impulse gesamt}}{\text{Messzeit}} = \text{Impulsrate [ips]} \quad (1)$$

Die Messunsicherheit für die Impulsrate wurde nach Gleichung 2 bestimmt:

$$\frac{\sqrt{\text{Impulse gesamt}}}{\text{Messzeit}} = \text{Messunsicherheit SD [ips]} \quad (2)$$

Auf Basis von Literaturangaben [1] wurde die Peaklage des jeweiligen Radionuklides anhand der geräteinternen Energiekalibrierung aufgesucht und um das jeweilige Peak-Maximum eine festgelegte Anzahl von Detektionskanälen ausgewertet (s. Tabelle 4-1). Für die Ermittlung der Aktivitätsverhältnisse zwischen Uran-238-Zerfallsreihe und Th-232-Zerfallsreihe wurden die hochenergetischen und relativ gut detektierbaren Gammalinien von Bi-214 und Tl-208 ausgewählt. Für die Prüfung auf die künstliche Radionuklide Co-60 und Cs-137 wurde der Kanalbereich gewählt, der aufgrund der Energiekalibrierung am K-40 den typische Energielinien entspricht.

**Tabelle 4-1: Datengrundlagen und Auswertungen von Peak-Summen (PS).**

Gamma-Energie [keV]	Emmissions-wahrscheinlichkeit / 100 Zerfälle [%]	Nuklid	Ausgewertete Kanäle	Bezeichnung Peaksummen
2614,511 ± 0,010	99,755 ± 0,004	Tl-208	7 Kanäle	PS(Tl-208)
1764,494 ± 0,014	15,31 ± 0,05	Bi-214	8 Kanäle	PS(Bi-214)
1460,822 ± 0,006	10,55 ± 0,11	K-40	7 Kanäle	PS(K-40)
1332,492 ± 0,004	99,9826 ± 0,0006	Co-60	3 Kanäle	PS(Co-60)
661,657 ± 0,003	84,99 ± 0,20	Cs-137	3 Kanäle	PS(Cs-137)

Durch die Bildung von Peak-Summen (Tabelle 4-1) über mehrere Kanäle und den Abzug von Hintergrundimpulsen (Subtraktion des Hintergrundes außerhalb der Peak-Basislinie und Abzug von Nettoimpulsen der internen Kalibrierquelle im Bereich des K-40 Peaks), wurde ein Nettosignal (Netto-Peak-Summe) ermittelt, das für die weitere Auswertung zugrunde gelegt wurde.

Aus den Netto-Peak-Summen wurden die folgenden Abschätzungen vorgenommen:



- Ermittlung des Nuklidverhältnisses Th-232sec/ U-238sec gemäß

$$\frac{Th - 232sec}{U - 238sec} = \frac{1}{k1} \cdot \frac{PS(Tl - 208)}{PS(Bi - 214)} \quad (3)$$

mit dem Kalibrierfaktor  $k1 = 1,63$  (Bestimmt durch interne Kalibriermessungen von NCC).  
U-238sec, Th-232sec bezeichnet hier die Aktivität der Zerfallsreihe, bezogen auf das jeweilige Mutternuklid.

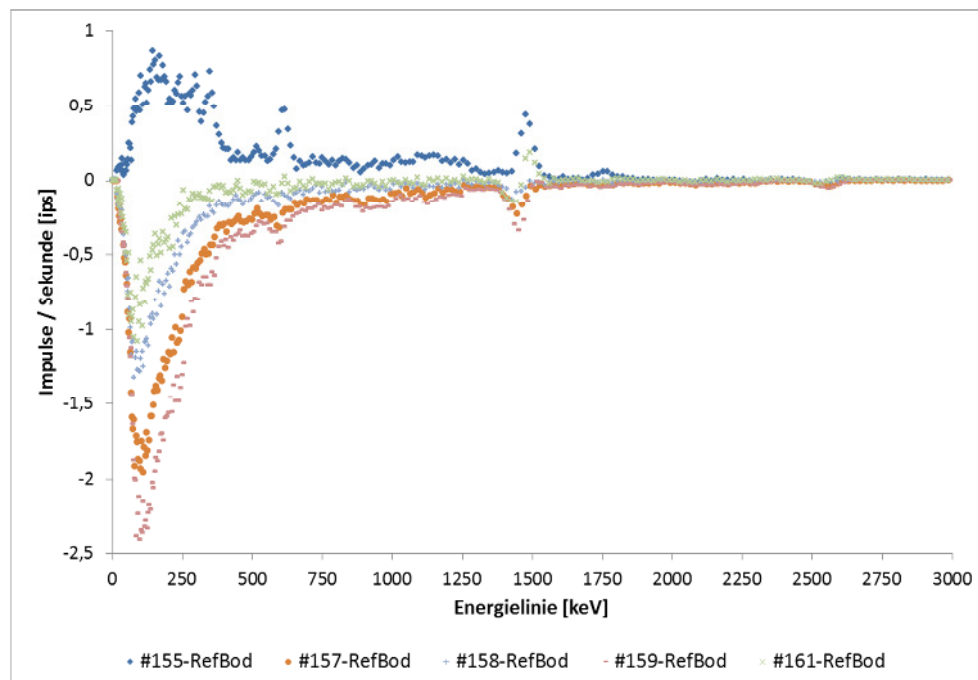
- Ermittlung des Nuklidverhältnisses K-40/U-238sec gemäß

$$\frac{K - 40}{U - 238sec} = k2 \cdot \frac{PS(K - 40)}{PS(Bi - 214)} \quad (4)$$

mit dem Kalibrierfaktor  $k2 = 1,48$  (Bestimmt durch interne Kalibriermessungen von NCC).

## 4.2 Messergebnisse

Die Rohdaten der durchgeführten Messungen sind in Anlage 3.2 aufgeführt. Die Abbildung 4-2 zeigt die Impulsraten (ips) der jeweils aufgenommenen Spektren und eine Auswertung, bei der die Impulsraten der Boden Referenzfläche im Nordwesten der Deponie (FG Boden nw) von den Spektren der Ablagerungspunkte (Spektren (#157, #158, #159, #161) und der Messung auf dem Schlosshof Schwieberdingen (Spektrum #155) abgezogen wurden.



**Abbildung 4-2: Gemessene Gammaspektren der Ablagerungsflächen (#157, #158, #159, #161) und Gammaspektrum des Hauptplatzes auf dem Schlosshof der Gemeinde Schwieberdingen (#155) nach Abzug des Referenzboden Gammaspektrums #160, Boden NW (RefBod).**

Die in Abbildung 4-2 dargestellten Gammaskpektren zeigen die Abweichungen der jeweiligen Gammaskpektren vom Gammaskpektrum des Referenzbodens. Es ist deutlich zu sehen, dass nur das Gammaskpektrum des Schlosshofes (#155-RefBod = Spektrum #155 minus Spektrum #160 Referenzboden) positive Werte aufweist, das heißt, einen höheren Strahlungspegel über alle hier erfassten Energiebereiche hat. Die analog ausgewerteten Spektren #157, #158 und #159 von Messungen auf dem Deponeiekörper weisen alle einen niedrigeren Strahlungspegel als der Referenzboden am Standort Boden NW auf (vgl. Anlage 2.1).

Der in dieser Auswertung sichtbare Peak im Bereich 1460 keV stammt zu einem Teil von einem internen Prüfstrahler (Kalisalz mit Radionuklid K-40) und von natürlicherweise im Boden vorkommendem K-40. Für die weitere Auswertung der Zählraten wurde der Kalium-Peak um den Betrag der Netto-Peak-Summe des internen Kalibrierstrahlers, die durch die Peak-Auswertung von mehrfach gemessenen Hintergrundspektren unter einer Abschirmung bestimmt wurde, bereinigt.

Die Ergebnisse der Auswertung der Netto-Peak-Summen sind in Anlage 3.2 aufgeführt. In Tabelle 4-2 sind die weiteren Ergebnisse der Auswertungen nach Gleichung 3 und Gleichung 4 zusammengestellt.

**Tabelle 4-2: Ergebnisse der Spektrenauswertung – Natürliche Radionuklide**

	#155	#156	#157	#158	#159	#160	#161
Th-232sec / U-238sec	0,24	0,91	0,90	0,84	0,58	0,95	1,64
K-40 / U-238sec	9,57	10,57	12,8	10,27	7,99	13,04	21,92
ODL, gemessen [nSv/h]	145 *)	117	82	103	68	121	100
U-238sec [Bq/g]	0,110	0,053	0,031	0,048	0,030	0,052	0,028
Th-232sec [Bq/g]	0,026	0,058	0,028	0,040	0,017	0,055	0,046
K-40 [Bq/g]	1,053	0,555	0,397	0,493	0,240	0,678	0,614
ODL, berechnet [nSv/h]	146	117	83	102	69	121	101

\*) Für den Hauptplatz des Schlosshofes nach Tab. 3.2 wird der mittlere Wert des Messbereiches als repräsentativer Wert angenommen.

Zur Prüfung, ob radiologisch relevante Aktivitäten aus der Entsorgung freigegebener Abfälle vorhanden sind, eignen sich aufgrund des im Messkonzept beschriebenen Nuklidvektors nur die Radionuklide Co-60 und Cs-137. Hier wird geprüft, ob erkennbare Peaks im Spektrum vorkommen, die auf eine Kontamination durch diese Radionuklide hinweisen.

Grundlage der Auswertung sind die Netto-Peak-Summen in den jeweils ausgewerteten Kanälen und ihre statistische Messunsicherheit. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt. Sie ergeben keine Hinweise auf die geprüften Radionuklide.

**Tabelle 4-3: Ergebnisse der Spektrenauswertung – Indikator nuklide Cs-137, Co-60**

	#155	#156	#157	#158	#159	#160	#161
PS(Cs-137)	-0,31 ± 0,03	-0,05 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	-0,02 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	-0,08 ± 0,03	-0,06 ± 0,03
PS(Co-60)	-0,08 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	-0,03 ± 0,03	-0,01 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	-0,04 ± 0,03

## 5 Untersuchung von Bodenproben

### 5.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept:

- a. Bestimmung der spezifischen Aktivität von künstlichen und natürlichen Radionukliden im Boden. Horizontierte Probenahme (0-30 cm) und gammaspektrometrische Analyse im Labor am kritischen Aufpunkt für Staubdeposition im Südosten der Deponie.

Bemerkung: Die Bodenfläche für die horizontierte Probenahme wurde vom Südosten in den Nordosten verlagert.

- b. Bestimmung der spezifischen Aktivität von künstlichen und natürlichen Radionukliden im Boden. Mischprobe auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Westen bis Südwesten der Deponie.

#### Durchführung

Die Bodenuntersuchungen wurden auf Bodenflächen im direkten Umfeld der Deponie durchgeführt. Dabei wurden Bodenstandorte ausgewählt, die sich im Nordwesten und im Nordosten der Deponie befanden (vgl. Anlage 2.1). Die nordwestliche Bodenfläche wurde als Referenzbodenfläche definiert.

Die im Nordwesten gelegene Ackerfläche wurde mittels eines Bohrstockes auf einer Fläche von ca. 20 m x 20 m im Umfeld des Messpunktes „Boden NW“ in einem Raster von 4 m x 4 m bis in eine Tiefe von 30 cm beprobt.

Im Nordosten (Boden NO) wurde ein Bodenprofil angelegt und mit einer Schaufel wurden in 5 cm Tiefenabschnitten Proben entnommen, die einer bodenkundlichen Kurzbewertung nach der bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 [2] unterzogen wurden (vgl. Abbildung 5-1).



**Abbildung 5-1: Bodenproben aus 5 cm Schichten des insgesamt 30 cm Tiefenprofils, Probenreihe FG Boden NO.**

Nach der durchgeführten bodenkundlichen Kurzbewertung (Anlage 3.1) handelt es sich bei dem im Nordosten der Deponie vorliegenden Substrat um einen Feinboden aus überwiegend schluffigem Material mit stark tonigen Bestandteilen (Ut4; Lu; Tu4) und schwach feinkiesigen Grobbodenbestandteilen (< 1%). Ein ca. 10 cm schwach humoser Oberboden mit einer dichten Durchwurzelung und wenige tiefer führende Makroporen deuten auf ein intaktes Bodengefüge hin. Nach [3] handelt es sich bei dem am Standort vorliegenden Boden um eine Pararendzina aus Löss (Ut2-4), die auf wärmzeitlichem Löss gebildet wurde. Der Wechsel der Bodenfarbe (Y10R 4/2 nach 10YR 5/4 nach Munsell Farbtafel) in einer Tiefe von 10 cm ist auf die humosen Bestandteile der Durchwurzelungszone zurückzuführen und stellt den Horizontwechsel von Oberboden (Ah) auf Untergrundhorizont (C) dar. Von einer wesentlichen Veränderung des Bodengefüges in den letzten Jahren ist nach Berücksichtigung aller betrachteten Merkmale nicht auszugehen.

Die entnommenen Proben wurden umgehend per Kurier an das Analyselabor verschickt.

## 5.2 Messergebnisse

Der Messbericht des Labors ist in Anlage 4.1 dokumentiert. Die darin aufgeführten Ergebnisse sind (ohne zugehörige Messunsicherheit) in Tabelle 5-1 aufgeführt. Da die Messergebnisse belegen, dass die spezifische Aktivität von Ra-228, Th-228 annähernd gleich ist, kann für die Th-232-Zerfallsreihe von einem säkularen Gleichgewicht ausgegangen und somit die Aktivität der Tochternuklide als repräsentativ für das Mutternuklid Th-232 angesehen werden. Entsprechend wurde die Aktivität des Tochternuklides Th-228 als Wert für Th-232 in Tabelle 5-1 eingetragen.

**Tabelle 5-1: Ergebnisse der gammaspektrometrischen Untersuchung an Feststoffproben [Bq/g].**

Probenbezeichnung *)	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-232	K-40	Cs-137	Co-60
FG so 0-5 cm	0,050	0,052	0,068	0,057	0,551	0,0063	<0,00019
FG so 5-10 cm	0,052	0,054	0,055	0,056	0,552	0,0063	<0,00016
FG so 10-15 cm	0,052	0,050	0,053	0,058	0,585	0,0041	<0,00014
FG so 15-20 cm	0,051	0,054	0,054	0,059	0,532	0,0035	<0,00021
FG so 20-25 cm	0,054	0,052	0,053	0,056	0,551	0,0068	<0,00020
FG so 25-30 cm	0,052	0,050	0,052	0,053	0,544	0,0082	<0,00023
FG nw OBMP 0-30 cm	0,051	0,052	0,051	0,055	0,678	0,0057	<0,00023

\*) Die Bezeichnung „FG so ###“ ist auf das Bodenprofil im Nordosten der Deponie (Boden NW) bezogen.

Die in Tabelle 5-1 aufgeführten Ergebnisse der gammaspektrometrischen Untersuchungen zeigen:

- In der U-238 Zerfallsreihe ist das radioaktive Gleichgewicht schwach gestört. Vermutlich durch verwitterungsbedingte Verlagerungsprozesse (U-238, Ra-226) und atmosphärische Deposition (Pb-210). Der Th-230 Messwert ist mit einer hohen Messgenauigkeit behaftet.
- Das Radionuklid Pb-210 weist im oberen Bodenhorizont etwas höhere spezifische Aktivität auf. Dieser Effekt ist durch die atmosphärische Deposition von dem aus Radon (Rn-222) gebildeten Pb-210 bedingt und natürlichen Ursprungs.

- Die Cs-137 Aktivität ist im Bodenprofil ungleichmäßig verteilt. Aus den Cs-137 Aktivitäten des Bodenprofils unter Annahme einer Bodendichte von 1500 kg/m<sup>3</sup> errechnet sich ein flächenbezogenes Inventar von 2640 Bq/m<sup>2</sup> Cs-137. Das entspricht der ortsüblichen Deposition von Cs-137 als Folge des Tschernobyl-Fallouts [4], [5].
- Die Cs-137 Aktivität in der Oberbodenmischprobe (FG nw OBMP 0-30 cm) weist ebenfalls ein flächenbezogenes Inventar in dieser Größenordnung auf (2565 Bq/m<sup>2</sup> Cs-137).
- Alle Messwerte von Co-60 liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Eine Kontamination des Bodens mit Co-60 durch Abwehen vom Abfall ist für den untersuchten Bodenstandort nicht nachweisbar.

Die in Tabelle 5-1 aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass in dem untersuchten Bodenprofil die natürlichen Radionuklide weitgehend homogen verteilt sind. Die ODL in 1 m Höhe über dem Boden kann daher mit Hilfe der von UNSCEAR [6] (UNSCEAR 2008 Annex B; Para 81) angegebenen Dosiskoeffizienten für Bodenstrahlung abgeschätzt werden. Die Ergebnisse in Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 stimmen sehr gut mit denen der ODL-Messungen überein (vgl. Kapitel 3.2 und Anlage 1.4).

**Tabelle 5-2: Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordosten der Deponie (Boden NO).**

	Einheit	U-238	Th-232	K-40	DL, terrestr.	DL, kosm	ODL *)
Dosiskoeffizient nach UNSCEAR (2008)	nSv/h / (Bq/g)	462	604	41,7			
Messwerte							
FG so 0-5 cm	Bq/g	0,052	0,057	0,551			
FG so 5-10 cm	Bq/g	0,054	0,056	0,552			
FG so 10-15 cm	Bq/g	0,050	0,058	0,585			
FG so 15-20 cm	Bq/g	0,054	0,059	0,532			
Mittelwert	Bq/g	0,053	0,058	0,555			
Dosisleistung, berechnet	nSv/h	24	35	23	82	35 - 40	117 - 122

\*) Arithm. Mittelwert der ODL-Messungen im Umfeld des Bodenprofils lag bei 120 nSv/h (vgl. Anlage 1.4).

**Tabelle 5-3: Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordwesten der Deponie (Boden NW).**

	Einheit	U-238	Th-232	K-40	DL, terrestr.	DL, kosm	ODL *)
Dosiskoeffizient nach UNSCEAR (2008)	nSv/h / (Bq/g)	462	604	41,7			
Messwerte							
FG nw OBMP 0-30 cm	Bq/g	0,052	0,055	0,678			
Dosisleistung, berechnet	nSv/h	24	33	28	86	35 - 40	121 - 126

\*) Die ODL-Messungen im Bereich der Bodenprobenahme lagen zwischen 103 bis 131 nSv/h (vgl. Anlage 1.4).

## 6 Untersuchung von Sickerwasserproben

### 6.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung der Probenahme

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept

- a. Bestimmung von Tritium, künstlichen und natürlichen gammastrahlenden Radionukliden sowie der Gesamtalpha- und Gesamtbetaaktivität.
- b. Bestimmung der Uran-Isotopenzusammensetzung (U-235/U-238, U-234/U-238 und optionale Prüfung der Messbefunde auf U-233, U-236).

Wie im Messkonzept beschrieben, wurden für die Sickerwasseruntersuchungen Drainagen oder Sickerwassersammler ausgewählt, die Abschnitte entwässern, in welchen Ablagerungsbereiche der „Rückbau Abfälle“ liegen. Außerdem wurden Drainage Leitungen beprobt, die keinen Bezug zu den Freigabeabfällen haben.

Die Lage der Sickerwassersammler unterhalb der Ablagerungsflächen wurde anhand von Leitungsplänen gemeinsam mit Herrn Borrmann, iUS geprüft und ist in Anlage 2.2 in Form von Leitungsnetzplänen beigefügt.

Die Proben wurde mittels eines 1 Liter Schöpfers aus den jeweiligen Sickerwasserschächten entnommen und zur Analytik per Kurier in das beauftragte Labor verschickt. Die Zuordnung der Sickerwasserproben zu den Ablagerungsflächen ist in Tabelle 6-1 angegeben.

**Tabelle 6-1: Sickerwasserproben mit Zuordnung der jeweiligen Deponiebereiche.**

Probe	Volumen	Bereich
FGSiWa SF1	11 l	Südlicher Deponiebereich
FGSiWa S15	11 l	Ablagerungsfläche 1245318
FGSiWa S20	11 l	Ablagerungsfläche 1245318
FGSiWa S22	11 l	Ablagerungsflächen 1245660 und 1237787
FGSiWa S25	11 l	Ablagerungsfläche 1245510
FGSiWa S60	11 l	DK-0-Bereich, keine Ablagerungsfläche
Hummelbrunnen H1	1 l	Quellfassung unterhalb der Deponie

Als Analysenumfang wurden gemäß dem abgestimmten Messkonzept die folgenden Parameter analysiert:

- Bestimmung der Radionuklide U-238, Th-230, Ra-226, Pb-210, U-235, Ac-227, Ra-223, Ra-228, Th-228, Ra-224, K-40, Cs-137 und künstliche Radionuklide mittels doppelter Gammaskopmetrie im zeitlichen Abstand nach Volumenreduktion.
- Bestimmung der Gesamtalpha- und Gesamtbetastrahler mittels Messungen im Durchflussproportionalzählrohr.
- Bestimmung von Tritium mittels Flüssigszintillationsspektrometrie (LSC) nach Destillation für Tritium in Sickerwässern und nach elektrolytischer Anreicherung für Quell- und Grundwasser.



- Bestimmung von Uran Isotopenverhältnissen U-234/U-238, U-235/U-238, ggfls. U-236/U-238 und U-233/U-238 mittels Alphaspektrometrie und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) nach radiochemischer Trennung.

## 6.2 Messergebnisse

Der Prüfbericht der Laboruntersuchungen an Sickerwässern und Brunnenwasser aus dem Hummelbrunnen ist in Anlage 4.2 dokumentiert. Eine Zusammenstellung der Messergebnisse (ohne Messunsicherheit) enthält Tabelle 6-2. Die Analytik der Sickerwasserproben war durch die hohen Salzgehalte erschwert, die das Einengen der Volumina begrenzten und daher zu höheren Nachweisgrenzen führten als im Fall von gering mineralisierten Wässern (mdl. Mitteilung M. Köhler, VKTA, 14.11.2016).

Die Tritium Konzentrationen aus der unterhalb der Deponie AM FROSCHGRABEN liegenden Quelfassung entnommenen Probe, sind mit 0,67 Bq/l ein normaler Wert für ein junges Grundwasser einzuordnen.

**Tabelle 6-2: Ergebnisse der Laboruntersuchungen Sickerwässern der Deponie AM FROSCHGRABEN.**

	FGSiWa SF1	FGSiWa S15	FGSiWa S20	FGSiWa S22	FGSiWa S25	FGSiWa S60
	D-0	D-A	D-A	D-A	D-A	D-0
	Südl. Deponiebereich	Abl.-Pkt. 1245318	Abl.-Pkt. 1245318	Abl.-Pkt. 1245660 und 1237787	Abl.-Pkt. 1245510	Keine Ablagerung
Tritium (Bq/l)	< 1,7	19,3	8,2	3,4	2,6	<1,7
Ges-α (Bq/l)	0,37	0,43	0,32	0,27	0,65	0,33
Ges-β (Bq/l)	2,4	15	20	12,0	9,0	2,0
U-238 (Bq/l)	0,125	0,144	0,123	0,107	0,183	0,105
U-234 (Bq/l)	0,145	0,168	0,14	0,13	0,21	0,116
Th-230 (Bq/l)	<0,61	<2,3	<2,3	<2,6	<1,6	<1,4
Ra-226 (Bq/l)	<0,074	<0,094	<0,15	<0,30	<0,078	<0,080
Pb-210 (Bq/l)	<0,091	<0,36	<0,35	<0,24	<0,25	<0,21
U-235 (Bq/l)	0,0057	0,0067	0,0058	0,0050	0,0085	0,0049
Ra-228 (Bq/l)	<0,014	<0,042	<0,042	<0,12	<0,045	<0,027
Th-228 (Bq/l)	0,0105	0,049	0,037	0,153	0,036	0,041
K-40 (Bq/l)	1,90	14,0	18,5	11,1	5,7	1,59
Cs-137 (Bq/l)	<0,0025	<0,0095	0,014	<0,043	<0,0075	<0,0042
Aktivitätsverhältnisse Uran						
U-234/U-238	1,160	1,167	1,138	1,215	1,148	1,105
U-235/U-238	0,046	0,047	0,047	0,047	0,046	0,047

Abkürzungen zu „Typ“: D-0: Deponieabschnitt ohne abgelagerte Freigabeabfälle; D-A: Deponieabschnitt mit abgelagerten Freigabeabfällen.

Die U-235/U-238 Verhältnisse (vgl. Tabelle 6-2) liegen sämtlich im Bereich des natürlichen Aktivitätsverhältnisses. Es sind keine Hinweise auf Beimischungen von isotopisch verändertem Uran erkennbar. Das Isotopenverhältnis U-234/U-238 (1,1 bis 1,2) entspricht dem in vielen Grundwässern gefundenen Wert. Die etwas höheren U-234 Konzentrationen sind als Folge einer Mobilisierung von U-234

durch Rückstoßprozesse zu erklären. Von einer Untersuchung des U-236 wurde aufgrund der vorliegenden Ergebnisse abgesehen.

Die Ergebnisse der Sickerwasseranalysen weisen in den Sickerwassersträngen, die Deponieabschnitte entwässern in welchen Freigabeabfälle deponiert wurden, leicht erhöhte Tritiumkonzentrationen gegenüber dem natürlichen Hintergrund von ca. 1 Bq/l auf. Außerdem wurden in einigen dieser Abschnitte messbare Cs-137 Konzentrationen festgestellt. Letzteres wurde erreicht, da die Analysen mit Methoden ausgeführt wurden, die für Trinkwasseruntersuchungen entwickelt wurden. Bei der Überwachung von Deponiesickerwässern im IMIS-Messprogramm des Bundes, die von verschiedenen Messlaboren der Länder realisiert wird, wurden bei entsprechend niedrigen Nachweisgrenzen ähnliche Cs-137 Konzentrationen gemessen (Jahresbericht Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 2012, Tabelle 2.6-1., Herausgeber: BMUB 2014).

Die Messergebnisse des Tritiums im Quellwasser sind typisch für junges, natürliches Grundwasser und geben keine Hinweise auf eine deponiebedingte Veränderung.

Um die Messergebnisse in Hinblick auf ihre radiologische Relevanz beurteilen zu können, sind in Tabelle 6-3

- Referenzwerte für radiologische Parameter der Trinkwasserverordnung
- Aktivitätskonzentrationen zur Beurteilung von Ableitungen aus Strahlenschutzbereichen nach Anlage VII Teil B Tab. 4 StrlSchV

zusammengestellt. Die Messwerte nach Tabelle 6-2, die über der Nachweisgrenze liegen und höher als diese Referenzwerte ausfallen, sind die der Parameter Gesamt- $\beta$  und Gesamt- $\alpha$ . Der Parameter Gesamt- $\beta$  wird im Sickerwasser durch das chemische Element Kalium mit seinem radioaktiven Isotop K-40 bestimmt. K-40 trägt nicht zu einer zusätzlichen Strahlenexposition bei. Die radiologische Relevanz des Parameters Gesamt- $\alpha$  ergibt sich aus der Zusammensetzung des Nuklidgemisches. Die fachgerechte Bewertung des Nuklidgemisches (mit Anwendung einer Summenformel) ist nicht Teil dieses Messberichtes.

**Tabelle 6-3 Werte zur Beurteilung von Radionukliden im Wasser**

	TrinkwV (2015)	Anlage VII Teil D Tab. 4 StrlSchV
	Bq/l	Bq/l
Tritium (Bq/l)	100 (*)	10.000
Ges- $\alpha$ (Bq/l)	0,05 – 0,1 (+)	k.A.
Ges- $\beta$ (Bq/l)	1,0	k.A.
U-238 (Bq/l)	3,0	3
U-234 (Bq/l)	2,8	2
Th-230 (Bq/l)	k.A.	0,2
Ra-226 (Bq/l)	0,5	0,2
Pb-210 (Bq/l)	0,2	0,1
U-235 (Bq/l)	k.A.	3
Ra-228 (Bq/l)	0,2	0,03
Th-228 (Bq/l)	k.A.	0,2
K-40 (Bq/l)	k.A.	k.A.
Cs-137 (Bq/l)	11	30

(\*) als Indikator aufgeführt, kein Teil des Parameters Richtdosis. (+) im Rahmen spezifizierter Screening Messungen.

## 7 Quellen

- [1] M.-M. Bé u. a., *Table of Radionuclides*, Bd. 8. Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France: Bureau International des Poids et Mesures, 2016.
- [2] W. Eckelmann, H. Sponagel, und Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hrsg., *Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz - Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5: mit 25 Tabellen*, 1. Aufl. Hannover: BGR, 2009.
- [3] „LGRB-Kartenviewer“. [Online]. Verfügbar unter: [http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb\\_geola\\_bod](http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_geola_bod). [Zugegriffen: 31-Okt-2016].
- [4] D. Tait und D. Kock, „Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität (2013)“, in *Schriftenreihe Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität*, Bremen, 2016.
- [5] LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, „Radioaktivität in Baden-Württemberg 2002 bis 2011“, Karlsruhe, 1436–2783, Mai 2012.
- [6] United Nations, Hrsg., *Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly, with scientific annexes*. New York: United Nations, 2010.