

## Messbericht - Deponie BURGHOF -

Projekt - Nr.: HE001-04.2 (Darmstadt, Kerntechnische Beratung)

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

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

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

**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 .....</b>	<b>4</b>
3.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	4
3.2    Messergebnisse .....	5
<b>4        Messung von Gammaspektren .....</b>	<b>5</b>
4.1    Messergebnisse .....	8
<b>5        Untersuchung von Bodenproben .....</b>	<b>10</b>
5.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	10
5.2    Messergebnisse .....	11
<b>6        Messungen an Sickerwasserproben .....</b>	<b>13</b>
6.1    Untersuchungsaufgabe und Durchführung .....	13
6.2    Messergebnisse .....	13
<b>7        Quellen .....</b>	<b>16</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Gammaspektrometer mit Stativ zur Einstellugn einer definierten Messhöhe von 1 m..	6
Abbildung 4-2: Gemessene Gammaspektren der Ablagerungsflächen (#150, #151, #152) und des Standortes Boden NO (#149) nach Abzug des Referenzboden Gammaspektrums #153, Boden SW (RefBod).	8
Abbildung 5-1: Bodenprofil am Standort Boden NO_2 bis 30 cm Tiefe aus dem in 5 cm Schichten Probenmaterial entnommen wurde.....	10

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Zusammenfassung der Raster-ODL-Messungen auf der Deponie BURGHOF.....	5
Tabelle 4-1:	Datengrundlagen und Auswertungen von Peak-Summen (PS).....	7
Tabelle 4-2:	Ergebnisse der Spektrenauswertung – Natürliche Radionuklide .....	9
Tabelle 4-3:	Ergebnisse der Spektrenauswertung – Indikator nuklide Cs-137, Co-60.....	9
Tabelle 5-1:	Ergebnisse der gammaspektrometrischen Untersuchung an Feststoffproben [Bq/g], Bodenprofil am Standort Boden NO_2 (vgl. Anlage 2.1).....	11
Tabelle 5-2:	Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordosten der Deponie (Boden NO_2).....	12
Tabelle 6-1:	Sickerwasserproben mit Zuordnung der jeweiligen Deponiebereiche. ....	13
Tabelle 6-2:	Ergebnisse der Sickerwasser- und Drainagewasseruntersuchung BURGHOF in [Bq/l]. .....	14
Tabelle 6-3	Werte zur Beurteilung von Radionukliden im Wasser .....	15

## 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 BURGHOF
Anlage 1.3:	ODL-Messungen an Bodenflächen BURGHOF
Anlage 2:	Planunterlagen (durch AVL zur Verfügung gestellt)
Anlage 2.1:	Lageplan der Deponie BURGHOF mit verzeichneten Messpunkten
Anlage 2.2:	Leitungsnetzpläne der Sickerwasserdrainagen und –sammler der Deponie BURGHOF
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 BURGHOF, 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.

Die messtechnischen Aufgaben wurden im Vorfeld abgestimmt und im Ergebnis wurde ein Messprogramm konzipiert. Die Messungen und Probenahmen für messtechnische Laboruntersuchungen wurden am 12.10.2016 auf der Deponie BURGHOF durchgeführt. Im Folgenden werden sowohl die Probenahmen und messtechnischen Untersuchungen Vor-Ort als auch die Ergebnisse der Laboranalytik aufgeführt und ausgewertet.

## 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) ermittelt. 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

### 3.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept:

ODL-Messung an ausgewählten Referenzpunkten auf dem Abfallkörper. Vor-Ort-konkretisierte Zielstellung:

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 (Absteckprotokoll s. Anlage 2.1).

### Durchführung:

Zur Ermittlung der Ortsdosisleistung (ODL) wurden im Bereich der Deponie BURGHOF die überdeckten Ablagerungsflächen mit ODL-Messungen in einem regelmäßigen Raster kartiert (Rasterlänge 4 m x 4 m, Messhöhe ca. 1 m).

Im Nordosten (Boden NO) und im Südwesten (Boden SW) der Deponie außerhalb der Ablagerungsflächen wurden zwei Bodenflächen kartiert (Raster 4 m x 4 m, Messhöhe ca. 1 m), die nach Angaben der AVL als gewachsener Boden oder umgelagerter gewachsener Boden angesehen werden können.

## 3.2 Messergebnisse

Die Messprotokolle der ODL-Messungen sind in

- Anlage 1.2: Messungen auf der Deponie
- Anlage 1.3: 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 BURGHOF.**

Ort der Messung	Anzahl	Mindestwert [nSv/h]	Maximalwert [nSv/h]	Mittelwert [nSv/h]
Messungen auf dem Abfallkörper der Deponie				
BH Abl.-Pkt. 1 (1304325)	39	68	89	77
BH Abl.-Pkt. 2 (1386057)	24	74	105	86
BH Abl.-Pkt. 3 (1383420)	31	88	115	101
Messungen auf Bodenflächen				
BH Boden Nordost	38	103	128	119
BH Boden Südwest	29	80	152	123

Insgesamt liegen die Messwerte auf der Deponie Burghof unterhalb der natürlicherweise vorliegenden Hintergrundstrahlung des umgebenden Bodenmaterials.

Natürliche Materialien wie Mergel aus Hamberg, Gleisschotter und der im Bereich der Deponie BURGHOF anstehende Mergel, die im Deponiebau verwendet werden, wurden ebenfalls vermessen (s. Anlage 1.2). Das auf der Deponie BURGHOF eingebrachte Material aus Hamberg sowie der Gleisschotter liegen mit 120 bis 150 nSv/h unterhalb der natürlicherweise im Deponiebereich vorliegenden Ortsdosisleistung von 150 – 190 nSv/h am anstehenden Mergel.

Durch die auf den Ablagerungsflächen durchgeführten ODL-Messungen konnte keine erhöhte Radioaktivität nachgewiesen werden.

## 4 Messung von Gammaspektren

### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept:

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).

### Durchführung

Zur In-Situ-Gammaspektrometrie 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 Geoplana 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 Gammaspektrometer wurde am 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 Gammaspektrometrie wurden nach der durchgeführten Messung verpflockt und im Nachgang erneut durch das Vermessungsbüro Geoplana eingemessen (Anlage 2.1).



**Abbildung 4-1: Gammaspektrometer 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 (Photopeaks) 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 Gesamtpulsen 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).**

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	7 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

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

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.

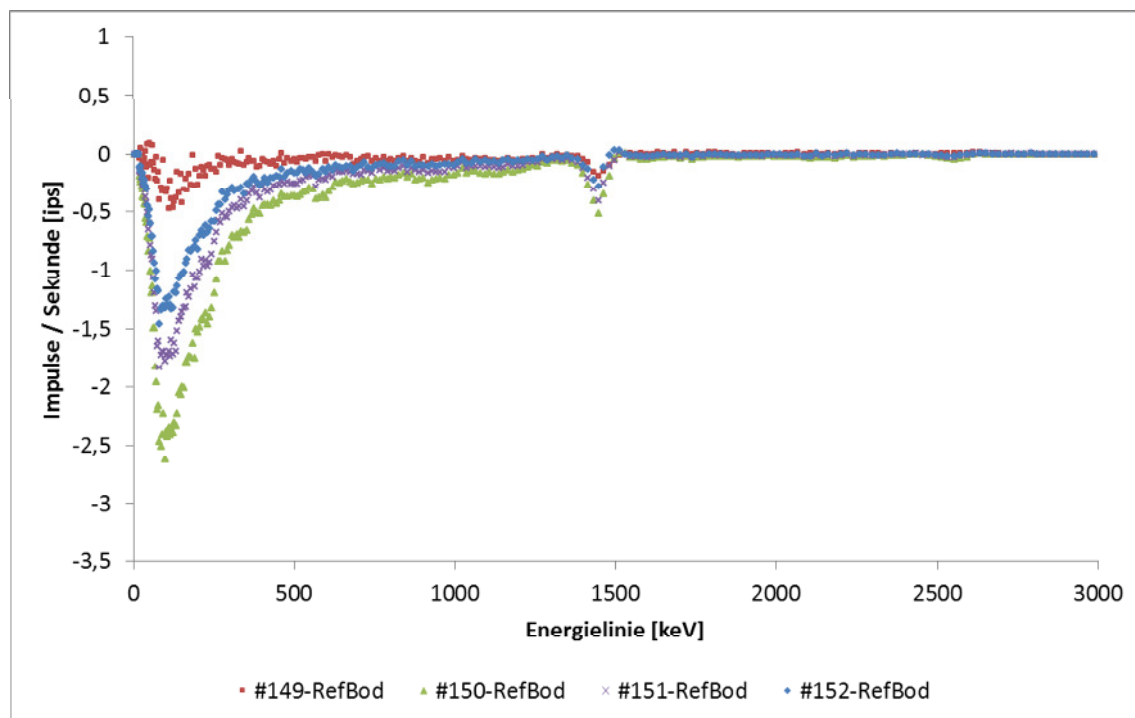
- Ermittlung des Nuklidverhältnisses K-40/U-238sec gemäß

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

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

## 4.1 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 Südwesten der Deponie (Boden SW, Spektrum #153) von den Spektren der Ablagerungspunkte (Spektren #150, #151, #152) und der Messung auf der Bodenfläche im Nordosten (Spektrum #149) abgezogen wurden.



**Abbildung 4-2: Gemessene Gammaskontinua der Ablagerungsflächen (#150, #151, #152) und des Standortes Boden NO (#149) nach Abzug des Referenzboden Gammaskontinua #153, Boden SW (RefBod).**

Die in Abbildung 4-2 dargestellten Gammaskontinua zeigen die Abweichungen der jeweiligen Gammaskontinua vom Gammaskontinua des Referenzbodens (z.B. #149-RefBod = Spektrum #149 minus Spektrum #153 Referenzboden). Es ist deutlich zu sehen, dass die auf dem Deponiekörper gemessenen Spektren (#150, #151, #152) für alle Energiekanäle Zählraten aufweisen, die geringer als die des Referenzbodens (#153 = „RefBod“) sind (dargestellt als negative Werte). Auch das Bodenspektrum am Standort Boden NO\_2 weist einen geringeren Strahlungspegel als der Referenzboden am Standort Boden SW 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 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**

	#149	#150	#151	#152	#153
Th-232sec / U-238sec	0,74	0,54	1,02	1,53	1,20
K-40 / U-238sec	11,75	8,55	13,53	28,67	24,09
ODL, gemessen [nSv/h]	114	78	74	96	124
U-238sec [Bq/g]	0,044	0,038	0,025	0,024	0,041
Th-232sec [Bq/g]	0,060	0,021	0,026	0,037	0,049
K-40 [Bq/g]	0,520	0,325	0,338	0,688	0,988
ODL, berechnet [nSv/h]	113	79	76	97	125

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**

	#149	#150	#151	#152	#153
PS(Cs-137)	-0,01 ± 0,03	-0,01 ± 0,03	-0,05 ± 0,02	-0,05 ± 0,03	-0,08 ± 0,03
PS(Co-60)	-0,03 ± 0,01	-0,01 ± 0,01	-0,03 ± 0,01	-0,03 ± 0,02	-0,07 ± 0,02

## 5 Untersuchung von Bodenproben

### 5.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

#### Untersuchungsaufgabe lt. Messkonzept:

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 Nordosten der Deponie.

#### Durchführung

Die Bodenuntersuchungen wurden auf Bodenflächen im direkten Umfeld der Deponie durchgeführt. Dabei wurden Bodenstandorte ausgewählt, die sich im Südwesten (Boden SW) und im Nordosten (Boden NO\_2) der Deponie befinden.

Am Standort Boden NO\_2 wurde ein Bodenprofil angelegt (vgl. Abbildung 5-1) und daraus in 5 cm Tiefenabschnitten Proben entnommen, die einer bodenkundlichen Kurzbewertung unterzogen wurden.



**Abbildung 5-1: Bodenprofil am Standort Boden NO\_2 bis 30 cm Tiefe aus dem in 5 cm Schichten Probenmaterial entnommen wurde.**

Nach der durchgeführten bodenkundlichen Kurzbewertung handelt es sich um ein umgelagertes natürliches Substrat aus überwiegend schluffigem Material mit tonigen und sandigen Bestandteilen (Ls3; Lu; Lt3). In den tiefer liegenden Schichten wurden zum Teil nicht standorttypische Gesteinsbruchstücke vorgefunden (vermutl. Gleisschotter 32-63 mm Korngröße). Das standorttypische Ausgangsmaterial in Form von Sand- Ton- und Mergelstein des Mittelkeupers wurde aufgrund der geringen Tiefe des Profils (30 cm) nicht nachgewiesen. Ein ca. 10 cm schwach humoser Oberboden mit einer dichten

Durchwurzelung und wenige tiefer führende Makroporen deuten auf ein intaktes Bodengefüge hin. Nach [2] handelt es sich bei dem im Umfeld des Standortes vorliegenden Bodentyp um einen Braunerde-Pelosol aus geringmächtiger lösslehmhaltiger Fließerde über Keuper-Tonfließerde. Die bodenbildenden Prozesse haben der Bodenfarbe nach zu urteilen zu ersten Verlagerungs- und Mineralneubildungserscheinungen geführt. Die Bodenfarbe (überwiegend 10YR 6/4 nach Munsell Farbtafel) weist in einer Tiefe von ca. 25 cm rost-rötliche Verfärbungen (7.5YR 4/4 nach Munsell Farbtafel) auf, die vermutlich auf die Bildung von sekundären Fe/Mn-Mineralen zurückzuführen sind. Nach Angaben der AVL wurde der untersuchte Bodenbereich im Jahr 1982 umgelagert.

Die entnommenen Proben wurden am 13.10.2016 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 die Zerfallsreihe im säkularen Gleichgewicht und somit die Aktivität der Tochternuklide auch 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], Bodenprofil am Standort Boden NO\_2 (vgl. Anlage 2.1).**

Probe	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-232	K-40	Cs-137	Co-60
BH so 0-5 cm	0,053	0,046	0,071	0,059	0,523	0,015	<0,00024
BH so 5-10 cm	0,050	0,041	0,057	0,057	0,507	0,0062	<0,00017
BH so 10-15 cm	0,058	0,047	0,055	0,064	0,540	0,0062	<0,00019
BH so 15-20 cm	0,054	0,043	0,043	0,059	0,509	0,00033	<0,00021
BH so 20-25 cm	0,054	0,047	0,043	0,064	0,539	0,00017	<0,00022
BH so 25-30 cm	0,054	0,047	0,045	0,063	0,575	0,00013	<0,00020

\*) Die Bezeichnung „BH so ###“ ist auf das Bodenprofil im Nordosten der Deponie (Boden NO\_2) 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 Messungenauigkeit 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 in den oberen Horizonten angereichert und nimmt mit der Tiefe ab. Aus den Cs-137 Aktivitäten des Bodenprofils unter Annahme einer Bodendichte

von 1500 kg/m<sup>3</sup> errechnet sich ein flächenbezogenes Inventar von 2102 Bq/m<sup>2</sup> Cs-137. Das entspricht der ortsüblichen Deposition von Cs-137 im Rahmen der Tschernobyl Reaktorhavarie [3], [4].

- Alle Messwerte von Co-60 liegen unter der Nachweisgrenze. Eine Kontamination des Bodens mit Co-60 durch Abwehen vom Abfall ist für den untersuchten Bodenstandort nicht nachweisbar.

Die Ergebnissen der Tabelle 5-1 zeigen, dass in dem untersuchten Bodenprofil die natürlichen Radionuklide weitgehend homogen verteilt sind. Die ODL im 1 m Höhe über dem Boden kann daher mit Hilfe der von UNSCEAR [5] (UNSCEAR 2008 Annex B; Para 81) angegebenen Dosiskoeffizienten für Bodenstrahlung abgeschätzt werden. Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit denen der ODL-Messungen überein (vgl. Kapitel 3.2 und Anlage 1.3).

**Tabelle 5-2: Berechnung der ODL aus den an Laborproben bestimmten spezifischen Aktivitäten für den Bodenstandort im Nordosten der Deponie (Boden NO\_2).**

	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							
BH so 0-5 cm	Bq/g	0,046	0,059	0,523			
BH so 5-10 cm	Bq/g	0,041	0,057	0,507			
BH so 10-15 cm	Bq/g	0,047	0,064	0,54			
BH so 15-20 cm	Bq/g	0,043	0,059	0,509			
Mittelwert	Bq/g	0,044	0,060	0,520			
Dosisleistung, berechnet	nSv/h	20	36	22	78	35 - 40	113 - 118

\*) Arithm. Mittelwert der ODL-Messungen im Umfeld des Bodenprofils lag bei 119 nSv/h (vgl. Anlage 1.4).

## 6 Messungen an Sickerwasserproben

### 6.1 Untersuchungsaufgabe und Durchführung

Durch die Untersuchung von Sickerwasser werden die lösbaren Radionuklidfrachten einer Ablagerungsfläche ermittelt. Für die Sickerwasseruntersuchungen wurden deshalb Drainagen oder Sickerwassersammler ausgewählt, die Abschnitte entwässern, in welchen Ablagerungsbereiche der „Rückbau Abfälle“ liegen.

Die Lage der Sickerwassersammler unterhalb der Ablagerungsflächen wurde anhand von Leitungsplänen geprüft und ist in Anlage 2 beigefügt. Demnach ergibt sich die in Tabelle 6-1 aufgeführte Zuordnung der Sickerwasserproben zu den Ablagerungsflächen.

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

Probe	Volumen	Bereich
BHSiWa S76	5 l	Ablagerungsfläche 1383419
BHSiWa-H3 S76	1 l	Ablagerungsfläche 1383419
BHSiWa S70	5 l	Ablagerungsfläche 1386057
BHSiWa-H3 S70	1 l	Ablagerungsfläche 1386057
BHSiWa S1/4	5 l	Altdeponie Hausmüll
BHSiWa-H3 S1/4	1 l	Altdeponie Hausmüll
BHTD-H3 T12	1 l	Tiefendrainage

Die Proben wurde mittels eines 1 Liter Schöpfers aus den jeweiligen Sickerwasserschächten entnommen und am 13.10.2016 per Kurier zur Analytik in das beauftragte Labor verschickt. 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 Gamma-spektrometrie 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.

### 6.2 Messergebnisse

Der Prüfbericht der Laboruntersuchungen an Sickerwässern und dem Wasser aus der Tiefendrainage ist in Anlage 4.2 dokumentiert. Eine Zusammenstellung der Messergebnisse (ohne Messunsicherheit) für die Parameter, bei denen Messwerte über der Nachweisgrenze erhalten wurden, enthält Tabelle 6-2. Die Analytik war durch die teilweise hohen Salzgehalte des Sickerwassers erschwert.

Die Tritium Konzentrationen aus der unterhalb der Deponie BURGHOF liegenden Tiefendrainage, sind mit 0,53 Bq/l als ein normaler Wert für junges Grundwasser einzuordnen.

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 (1,2 bis 1,3) entspricht dem in vielen Grundwässern gefundenen Wert. Die etwas höheren U-234 Konzentrationen von sind auf eine Mobilisierung von U-234 durch Rückstoßprozesse zu erklären.

**Tabelle 6-2: Ergebnisse der Sickerwasser- und Drainagewasseruntersuchung BURGHOF in [Bq/l].**

	BHSiWa-H3 S76	BHSiWa-H3 S70	BHSiWa-H3 S1/4
	D-A	D-A	D-0
	Abl.-Pkt. 1383419	Abl.-Pkt. 1386057	Altdeponie Hausmüll
Tritium	2,1	12,5	< 1,8
Ges-α	0,76	<0,21	0,39
Ges-β	13	26	17
U-238	0,196	0,0054	0,127
U-234	0,235	0,0069	0,160
Th-230	<1,4	<2,4	<1,9
Ra-226	0,15	<0,19	<0,12
Pb-210	<0,14	<0,38	<0,31
U-235	0,0090	0,000241	0,0059
Ra-228	<0,051	<0,058	<0,035
Th-228	0,025	0,021	0,031
K-40	7,9	20,9	17,1
Cs-137	0,13	0,043	<0,0072
Aktivitätsverhältnisse Uran			
U-234/U-238	1,20	1,28	1,26
U-235/U-238	0,046	0,045	0,046

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

Die Ergebnisse der Sickerwasseranalysen weisen in den Sickerwassersträngen, die Deponieabschnitte entwässern, in denen Freigabeabfälle deponiert wurden, leicht erhöhte Tritiumkonzentrationen gegenüber dem natürlichen Hintergrund von 1 Bq/l auf. Außerdem wurden in einigen dieser Abschnitte messbare Cs-137 Konzentrationen festgestellt. Letzteres wurde allerdings nur 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 ).

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

- Referenzwerte für radiologische Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV)

- 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] „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].
- [3] D. Tait und D. Kock, „Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität (2013)“, in *Schriftenreihe Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität*, Bremen, 2016.
- [4] LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, „Radioaktivität in Baden-Württemberg 2002 bis 2011“, Karlsruhe, 1436–2783, Mai 2012.
- [5] 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.