

# **Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen**

K- $\beta$ / $\gamma$ -IS-NORM-01

Bearbeiter:  
U.-K. Schkade

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung  
bei erhöhter natürlicher Radioaktivität (ENORM)

# Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Strahler in NORM-Stoffen

## 1 Anwendbarkeit

Das vorliegende Messverfahren ist dazu geeignet, die spezifischen Aktivitäten von Radionukliden in Rückstandsproben anhand von In-situ-Messungen mit vergleichsweise geringem Aufwand bezüglich der Probenvorbereitung abzuschätzen. Es dient der Entscheidung zur Freigabe von NORM-Stoffe und kann für die Wahl eines repräsentativen Probeentnahmeverfahrens vorteilhaft genutzt werden. Unter NORM-Stoffen versteht man Stoffe, die nur natürlich radioaktive Materialien (engl. Naturally Occurring Radioactivity Material) enthalten. In Grenzfällen sind jedoch die präzisen Labormethoden (Gammaskpektrometrie, Alphaspektrometrie) vorzuziehen.

Das Verfahren ist für überwachungsbedürftige Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Anlage XII, Teil A geeignet (1). Die bei den Nuklidketten U-238sec und Th-232sec sowie Pb-210++ zu betrachtenden Tochter-nuklide sind in der Anlage III Tabelle 2 der StrlSchV aufgelistet (1).

## 2 Probeentnahme

Die Probeentnahme aus Chargen sollte unter Beachtung der gegebenen Umstände derart erfolgen, dass den Anforderungen an die Schätzung der Erwartungswerte der spezifischen Aktivitäten auf Basis zufälliger Stichproben möglichst gut Rechnung getragen wird. Methodische Hinweise zur Festlegung des Stichprobenumfangs enthält, insbesondere für NORM-Stoffe, die Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) (2). Darin sind die Grundsätze und Methoden zur Berücksichtigung statistischer Unsicherheiten für die Ermittlung repräsentativer Werte der spezifischen Aktivitäten von Rückständen ausgearbeitet und praktische Vorgehensweisen formuliert worden. Die Abfallablagerversordnung verweist für die Durchführung der Probenahme auf die Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen (3).

## 3 Analyse

### 3.1 Prinzip des Verfahrens

Ziel des Verfahrens ist die Schnellbestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide (Leitnuklide) in NORM-Stoffen auf der Basis von Messungen der Beta- und Gammastrahlung mit handelsüblichen Dosisleistungs- und Kontaminationsmessgeräten.

Die zu untersuchende Probe wird in ein definiertes Messgefäß gefüllt. Am offenen Messgefäß werden sowohl die Gammastrahlung mit einem Dosisleistungsmessgerät als auch die Betastrahlung mit einem Kontaminationsmessgerät erfasst. Aus den Messwerten werden in Abhängigkeit vom Nuklidvektor des zu untersuchenden Probenmaterials die entsprechenden Aktivitäten bzw. spezifischen Aktivitäten unter Nutzung der jeweiligen Kalibrierfaktoren berechnet. Diese Kalibrierfaktoren wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes unter Verwendung geeigneter Kalibrierpräparate erarbeitet (4). Diese Kalibrierpräparate müssen auf Aktivitätsnormale rückführbar sein.

Eine ausführliche Darstellung der Untersuchungsmethode sowie der theoretischen Grundlagen enthält der Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben (4).

### **3.2 Probenvorbereitung**

Die in situ gewonnene Probe wird in eine zylindrische Kunststoffdose mit Schraubverschluss (z. B. 350 ml Fassungsvermögen, ca. 65 cm<sup>2</sup> Grundfläche) gefüllt. Dies sollte derart erfolgen, dass das zu untersuchende Material möglichst homogen ist. Anschließend ist die Probenmasse in der Kunststoffdose zu bestimmen, um die spezifische Aktivität bezogen auf die Feuchtmasse angeben zu können.

Kann die Homogenität der Probe in der Kunststoffdose nicht gewährleistet werden, z. B. aufgrund des Vorliegens von zwei unterschiedlichen Phasen bzw. Materialien in einer Probe, wird empfohlen, die Probe zu mahlen. Die Probenbehandlung einschließlich der Trocknung des Probenmaterials erfolgt nach der Norm DIN ISO 11464 (5). Ist die Aktivität bezogen auf die Trockenmasse anzugeben, ist der Trockenfaktor bzw. Wassergehalt der Probe gemäß der Norm DIN ISO 11465 zu bestimmen (6). Bei Vorliegen unterschiedlicher Fraktionen ist nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zu verfahren (7).

## **4 Messung der Aktivität**

### **4.1 Durchführung der Messungen**

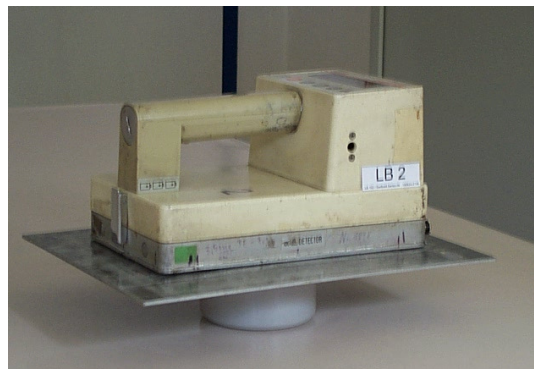
Die Messung der Ortsdosisleistung durch Gammastrahlung (ODL) erfolgt mit einem Dosisleistungsmessgerät. Die Betastrahlung wird mit einem Kontaminationsmessgerät (Beta-Gamma-Zähler) über der offenen Kunststoffdose (Geometrie „face-to-face“, siehe Abbildung 1) erfasst.



Messung der Ortsdosisleistung  
(Probe und Untergrund)  
 $\dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL})$



Messung der Gesamtzählrate  $R_{\beta,\gamma}$



Messung der Untergrundzählrate  $R_\gamma$

**Abb. 1:** Messung der Ortsdosisleistung (ODL) mit einem Dosisleistungsmessgerät an einer Probe (linkes Bild) und der Zählraten  $R_{\beta,\gamma}$ ,  $R_\gamma$  im Beta-Gamma-Modus mit einem Kontaminationsmessgerät (rechte Bilder)

Es ist zu beachten, dass die Ortsdosisleistung des Untergrundes  $\dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL})$  von der gemessenen Ortsdosisleistung  $\dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL})$  subtrahiert wird. Die Netto-ODL wird somit gemäß der Gleichung (1) berechnet:

$$\dot{D}(\text{ODL}) = \dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL}) - \dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL}) \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

- $\dot{D}(\text{ODL})$  Netto-ODL der zu untersuchenden Probe in  $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ ;
- $\dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL})$  gemessene ODL (Probe und Untergrund) in  $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ ;
- $\dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL})$  ODL des Untergrundes (Messung ohne Probe) in  $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Für die Bestimmung der Betastrahlung sind gleichfalls zwei Messungen erforderlich. Die erste Messung erfolgt direkt über der Probe zur Bestimmung der Zählrate infolge der in der Probe enthaltenen Beta- und Gammastrahler. Die zweite Messung erfolgt nach Abschirmung der Betastrahlung aus der Probe, z. B. mittels eines ca. 4 mm dicken Aluminiumbleches (siehe Abbildung 1). Damit wird die Betazählrate entsprechend Gleichung (2) berechnet:

$$R_{\beta} = R_{\beta,\gamma} - R_{\gamma} \quad (2)$$

Dabei bedeuten:

$R_{\beta}$  Nettozählrate in  $s^{-1}$ ;

$R_{\beta,\gamma}$  Zählrate infolge der Beta- und Gammastrahler in der Probe in  $s^{-1}$ ;

$R_{\gamma}$  Untergrundzählrate nach Abdeckung der Probe mit einer Abschirmung (4 mm Aluminiumblech) in  $s^{-1}$ .

Im Sinne einer Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität ist bei Feldmessungen eine Messdauer von 60 s bis 120 s bei der Messung der Probe und des Untergrundes ausreichend. Dies betrifft sowohl die Bestimmung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung als auch die der Betastrahlung. Werden mehrere Proben an einem Standort gemessen, muss der Untergrund der Ortsdosisleistung nur zu Beginn der Messungen bestimmt werden.

Aus den Messwerten werden in Abhängigkeit von der Kategorie der Proben und dem zuzuordnenden Nuklidvektor die entsprechenden Aktivitäten bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet (siehe Abschnitt 5).

## 4.2 Kalibrierfaktoren

Eine Voraussetzung für die Berechnung der spezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide in einer Rückstandsprobe ist neben der Durchführung der In-situ-Messung die Kenntnis der Kalibrierfaktoren. In Tabelle 1 ist für alle überwachungsbedürftigen Rückstände gemäß (1) der relevante Nuklidvektor und die Zuordnung des Kalibrierungstyps angegeben. Die entsprechenden Kalibrierfaktoren sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Genaue Daten können (4) entnommen werden.

**Tab. 1:** Kategorisierung der NORM-Stoffe hinsichtlich der zu erwartenden Nuklidvektoren und der Zuordnung des Kalibrierungstyps

Industriezweig und zu berücksichtigende Rückstände	eingesetzter Rohstoff	Nuklidvektor						Kalibrie- rungstyp (vgl. Tab. 2)
		Gleich- gewicht	Leitnuklid					
			U-238, Ra-226	U-238	Ra-226	Ra-228	Pb-210	
<b>(1) Erdöl/Erdgas</b> Schlämme					*			A
<b>(1) Erdöl/Erdgas</b> Ablagerungen					*			A
<b>(2) Phosphogipse</b> nicht aufbereitete Phosphogipse								H, B
<b>(2) Phosphogipse</b> Schlämme aus der Aufbereitung								C, E, I
<b>(2) Rohphosphat</b> Schlacken aus der Verarbeitung								C, E
<b>(2) Rohphosphat</b> Stäube aus der Verarbeitung								F
<b>(3a) Erzgewinnung und -aufbereitung</b> Nebengestein, Sande, Schlämme, Schlacken und Stäube	Kupfer- schiefererze							C
	Zinnerze							C, E
	Uranerze							G, H
<b>(3a) Erzgewinnung und -aufbereitung</b> Weiterverarbeitung von Konzentraten und Rückständen Nebengestein, Sande, Schlämme, Schlacken und Stäube	Bauxit (Rotschlamm)							B
	Kupfer- schiefererze (Schlacken)							C
	Kupfer- schiefererze (Theisen- schlamm)							F
	Zinnerze							C, E
	Uranerze (Erz)							C
	Uranerze (Uran- konzentrat)							D
	Uranerze (Tailings)							E

\* Th-228 wächst daraus nach

■ für die Rückstandsart relevanter Nuklidvektor

**Tab. 1:** Kategorisierung der NORM-Stoffe hinsichtlich der zu erwartenden Nuklidvektoren und der Zuordnung des Kalibrierungstyps (Fortsetzung)

Industriezweig und zu berücksichtigende Rückstände	eingesetzter Rohstoff	Nuklidvektor						Kalibrie- rungstyp (vgl. Tab. 2)
		Gleich- gewicht	Leitnuklid					
			U-238, Ra-226	U-238	Ra-226	Ra-228	Pb-210	
<b>(3b) Erzgewinnung und -aufbereitung</b> den unter 3a genann- ten Erzen entsprechen- de Materialien, die bei der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe anfallen	Hartgestein (z. B. Granit)							G, H
	Kaolin							I
	Feldspat							C, E
	TiO <sub>2</sub> - Produktion aus Rutil und Ilmenit			**				
	Steinkohle							A
<b>(4) Rauchgasreini- gung bei Primärver- hüttung in Roheisen- und Nichteisen- metallurgie</b> Stäube								
<b>(4) Rauchgasreini- gung bei Primärver- hüttung in Roheisen- und Nichteisen- metallurgie</b> Schlämme								
Auch								
<b>(a) Materialien gemäß 1ff, bei zweckgerichtetem Anfall</b>								
<b>(b) Formstücke aus den Materialien gemäß 1ff</b>								
<b>(c) ausgehobener/ abgetragener Boden/Bauschutt</b> aus Abbruch von Ge- bäuden oder sonstigen baulichen Anlagen, wenn Rückstände gemäß 1ff enthalten sind	mit $a_{Ra-226} = a_{U-238}$							G
	mit $a_{Ra-226} > a_{U-238}$							H
	mit Th-232 als Leitnuklid							I
<b>Zusätzlich</b>	Rückstände der Wasser- aufbereitung				*			K
	Strahlmittel							B
	Zirkonsande							L

\* Th-228 wächst daraus nach  
\*\* Anreicherung in Filtertüchern -  
diese fallen nicht unter § 97 StrlSchV

 Nuklidvektor entsprechend des eingesetzten  
Materials  
 für die Rückstandsart relevanter Nuklidvektor

**Tab. 2:** Zusammenstellung der für die unterschiedlichen Kalibrierungstypen erarbeiteten Kalibrierfaktoren  $\varphi$  und des Parameters  $a$  für den Beitrag von gammastrahlenden Radionukliden zur Betazählrate

Kalibrierungstyp	Parameter	Kalibrierfaktoren						
		$\varphi_{\gamma, \text{Ra-226}}$	$\varphi_{\gamma, \text{Ra+Th}}$	$\varphi_{\gamma, \text{Th-232}}$	$\varphi_{\beta, \text{U-238}}$	$\varphi_{\beta, \text{Ra-226}}$	$\varphi_{\beta, \text{Pb-210}}$	$\varphi_{\beta, \text{Th-232}}$
	$a$	$\frac{\text{Bq}}{\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}}$	$\frac{\text{Bq}}{\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}}$	$\frac{\text{Bq}}{\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}}$	$\frac{\text{Bq} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{Bq} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{Bq} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{Bq} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$
A	0,064	-	19	-	-	296	1282	-
B	-	-	17	-	-	-	-	-
C	0,0863	21	-	-	310	244	-	-
D	-	719	-	-	324	-	-	-
E	-	25	-	-	-	293	-	-
F	-	-	-	-	-	-	1170	-
G	0,0863	23	-	-	286	274	-	-
H	-	27	-	-	-	314	-	-
I	-	-	-	16	-	-	-	198
K	-	16	21	-	-	-	-	-
L	-	18	21	-	-	-	-	-

Die in Tabelle 2 beispielhaft angegebenen Kalibrierfaktoren  $\varphi_{\gamma}$  wurden mit dem Dosisleistungsmessgerät Szintomat 6150 der Firma AUTOMESS GmbH und  $\varphi_{\beta}$  mit dem Kontaminationsmessgerät LB 122 der Firma BERTHOLD GmbH ermittelt. Das Kontaminationsmessgerät wurde im Beta-Gamma-Modus betrieben. Der Parameter  $a$  berücksichtigt den Beitrag der Betastrahlung zur Zählrate, der von beta- und gammastrahlenden Radionukliden stammt.

## 5 Berechnung der spezifischen Aktivitäten

### 5.1 Gleichungen zur Berechnung

Entsprechend des Nuklidvektors der zu untersuchenden Proben werden für die Ermittlung der spezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide folgende Methoden angewandt:

- Messung der Ortsdosisleistung durch Gammastrahlung, z. B. bei der Bestimmung von Th-232 und Ra-226 von ausschließlich thoriumhaltigen Proben oder ausschließlich radiumhaltigen Proben;
- Messung der Zählrate infolge von Beta- und Gammastrahlung, z. B. bei der Bestimmung von Pb-210, wenn Pb-210 Leitnuklid ist;
- Kombination beider Messungen.

Die Berechnung der Analysenergebnisse wird anhand von drei Fallbeispielen in den nachstehenden Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.3 dargestellt.



**Anmerkung**

Ist eine Angabe der spezifischen Aktivität bezüglich einer trockenen Probe erforderlich, muss ein Trockenfaktor berücksichtigt werden.

**5.1.1 Fallbeispiel 1 – Spezifische Aktivität von Ra-226 (Messung der ODL)**

Bei der Bestimmung der Aktivität von Ra-226 in einer Probe, in der Ra-226 Leitnuclid ist (z. B. Bodenaushub, Tailings, Tabelle 1), wird mittels einer Ortsdosisleistungsmessung die Gesamtaktivität der Probe gemäß Gleichung (3) bestimmt.

$$A_{\text{Ra-226}} = \varphi_{\text{Y,Ra-226}} \cdot [\dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL}) - \dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL})] \quad (3)$$

Die spezifische Aktivität der erdfeuchten Probe wird nach Gleichung (4) berechnet:

$$a_{\text{f,Ra-226}} = \frac{A_{\text{Ra-226}}}{m_{\text{F}}} \quad (4)$$

Dabei bedeuten:

$A_{\text{Ra-226}}$	Aktivität von Ra-226 in der Probe in Bq;
$a_{\text{f,Ra-226}}$	spezifische Aktivität von Ra-226 in der erdfeuchten Probe in Bq·kg <sup>-1</sup> ;
$\varphi_{\text{Y,Ra-226}}$	Kalibrierfaktor in Bq·h·nGy <sup>-1</sup> , der Wert des Kalibrierfaktors ist z. B. für Tailings 25 Bq·h·nGy <sup>-1</sup> ;
$\dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL})$	gemessene ODL (Probe und Untergrund) in nGy·h <sup>-1</sup> ;
$\dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL})$	ODL des Untergrundes (Messung ohne Probe) in nGy·h <sup>-1</sup> ;
$m_{\text{F}}$	Feuchtmasse in kg.

**5.1.2 Fallbeispiel 2 – Spezifische Aktivität von Pb-210 (Messung der Beta- und Gammazählrate)**

Die spezifische Aktivität von Pb-210 in einer Probe, in der Pb-210 Leitnuclid ist (z. B. Gichtschlämme aus der Roheisenproduktion, siehe Tabelle 1), wird gemäß Gleichung (5) berechnet:

$$a_{\text{f,Pb-210}} = \varphi_{\beta,\text{Pb-210}} \cdot (R_{\beta,\gamma} - R_{\gamma}) = \varphi_{\beta,\text{Pb-210}} \cdot R_{\beta} \quad (5)$$

Dabei bedeuten:

$a_{\text{f,Pb-210}}$	spezifische Aktivität von Pb-210 in einer erdfeuchten Probe in Bq·kg <sup>-1</sup> ;
$\varphi_{\beta,\text{Pb-210}}$	Kalibrierfaktor in Bq·s·kg <sup>-1</sup> , der Wert des Kalibrierfaktors ist z. B. für Gichtgasschlämme $\varphi_{\beta,\text{Pb-210}} = 1170 \text{ Bq·s·kg}^{-1}$ ;
$R_{\beta,\gamma}$	Zählrate infolge der Beta- und Gammastrahler in der Probe in s <sup>-1</sup> ;
$R_{\gamma}$	Untergrundzählrate nach Abdeckung der Probe mit einer Abschirmung (4 mm Aluminiumblech) in s <sup>-1</sup> .
$R_{\beta}$	Nettozählrate in s <sup>-1</sup> .

### 5.1.3 Fallbeispiel 3 – Kombination beider Messungen zur Bestimmung der spezifischen Aktivität von Ra-226 und U-238 in "uranerzähnlichen Proben"

Der Begriff „uranerzähnliche Proben“ wird als Synonym für Proben angesehen, in denen ein angenähert radioaktives Gleichgewicht zwischen Ra-226 und U-238 besteht. Gemäß Gleichung (6) setzt sich die Nettozählrate aus einem Anteil, der von der Strahlung des Ra-226 herrührt, und einem Anteil, der von der Strahlung des U-238 herrührt, zusammen.

$$R_{\beta} = R_{\beta,U-238} + R_{\beta,Ra-226} \quad (6)$$

Der Anteil infolge der Strahlung von Ra-226 ist proportional der Ra-226-Aktivität in der Probe. Letztere ist eine Funktion der Ortsdosisleistung durch Gammastrahlung. Aus Gleichung (6) und diesem funktionalen Zusammenhang nach Gleichung (3) folgt Gleichung (7):

$$R_{\beta,U-238} = R_{\beta} - R_{\beta,Ra-226} = R_{\beta} - \frac{\alpha}{m_F} \cdot \dot{D}(\text{ODL}) \quad (7)$$

Dabei bezeichnet der Parameter  $\alpha$  den Anteil von Ra-226 an der Nettozählrate und  $m_F$  die Feuchtmasse der Probe.

Die spezifische Aktivität von U-238 wird gemäß Gleichung (8) berechnet:

$$a_{f,U-238} = \varphi_{\beta,U-238} \cdot R_{\beta,U-238} \quad (8)$$

Der Kalibrierfaktor  $\varphi_{\beta,U-238}$  beträgt für Boden bzw. Bauschutt  $286 \text{ Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ , der Kalibrierfaktor  $\varphi_{\beta,Ra-226}$  beträgt für Boden bzw. Bauschutt  $274 \text{ Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$  (siehe Tabelle 2).

## 5.2 Rechenbeispiele

### 5.2.1 Fallbeispiel 1 – Spezifische Aktivität von Ra-226 in einer Tailingprobe (Messung der ODL)

Bei der Durchführung der Messungen der ODL in einer Tailingprobe (siehe Tabelle 1) wurden die nachfolgend aufgeführten Daten ermittelt:

$$\begin{aligned} \varphi_{\gamma,Ra-226} &= 25 \text{ Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{nGy}^{-1}; \\ \dot{D}_{\text{Gesamt}}(\text{ODL}) &= 191 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}; \\ \dot{D}_{\text{UG}}(\text{ODL}) &= 70 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}; \\ m_F &= 0,470 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Die Aktivität von Ra-226 in der Probe beträgt nach Gleichung (3):

$$A_{\text{Ra-226}} = 25 \text{ Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{nGy}^{-1} \cdot (191 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} - 70 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}) = 3025 \text{ Bq}$$

Die abgeschätzte spezifische Aktivität von Ra-226 für das zur Untersuchung anstehende Tailingmaterial beträgt nach Gleichung (4):

$$a_{f,\text{Ra-226}} = \frac{3025 \text{ Bq}}{0,47 \text{ kg}} = 6436 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$$

### 5.2.2 Fallbeispiel 2 – Spezifische Aktivität von Pb-210 in Stäuben der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Roheisen- und Nichteisenmetallurgie (Messung der Beta- und Gammazählrate)

Bei der Durchführung der Messungen in Stäuben der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Roheisen- und Nichteisenmetallurgie (siehe Tabelle 1) wurden die nachfolgend aufgeführten Daten ermittelt:

$$\begin{aligned} \varphi_{\beta,\text{Pb-210}} &= 1170 \text{ Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}; \\ R_{\beta,\gamma} &= 17,1 \text{ s}^{-1}; \\ R_{\gamma} &= 13,4 \text{ s}^{-1}. \end{aligned}$$

Die abgeschätzte spezifische Aktivität von Pb-210 für die Stäube beträgt nach Gleichung (5):

$$a_{f,\text{Pb-210}} = 1170 \text{ Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (17,1 \text{ s}^{-1} - 13,4 \text{ s}^{-1}) = 4329 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$$

### 5.2.3 Fallbeispiel 3 – Kombination beider Messungen zur Bestimmung der spezifischen Aktivität von Ra-226 und U-238 in "uranerzähnlichen Proben"

Bei der Durchführung der Messungen zur Bestimmung der spezifischen Aktivität von Ra-226 und U-238 in „uranerzähnlichen Proben“ wurden die nachfolgend aufgeführten Daten ermittelt:

$$\begin{aligned} a &= 0,0863 \text{ kg} \cdot \text{h} \cdot \text{nGy}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}; \\ \varphi_{\beta,\text{U-238}} &= 310 \text{ Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}; \\ \dot{D}(\text{ODL}) &= 41 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}; \\ R_{\beta} &= 11 \text{ s}^{-1}; \\ m_{\text{F}} &= 0,550 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Die abgeschätzte spezifische Aktivität von U-238 beträgt gemäß den Gleichungen (7) und (8):

$$\begin{aligned} R_{\beta,\text{U-238}} &= 11 \text{ s}^{-1} - \frac{0,0863 \text{ kg} \cdot \text{h}}{0,55 \text{ kg} \cdot \text{nGy} \cdot \text{s}} \cdot 41 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} = 4,57 \text{ s}^{-1} \\ a_{f,\text{Pb-210}} &= 310 \text{ Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 4,57 \text{ s}^{-1} = 1416 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

### **5.3 Unsicherheiten der Analyseergebnisse**

Bei der Abschätzung der Messunsicherheit ist eine sehr differenzierte Herangehensweise erforderlich, da die kombinierten Messunsicherheiten von vielen Faktoren abhängen. Die entscheidende Größe bei der Bestimmung der spezifischen Aktivitäten ist die Homogenität der Aktivitätsverteilung in der Probe. Große Unterschiede in der Messgenauigkeit könnten sich auch hinsichtlich der betrachteten Radionuklide und der jeweiligen Nuklidvektoren ergeben. Des Weiteren ist der Einfluss zusätzlicher Größen, wie z. B. der Gesamtaktivität, der Dichte und der Bodenfeuchte, zu betrachten.

Die Messunsicherheiten sowohl der Nettozählrate als auch der Ortsdosisleistung betragen bei einer Messdauer von 60 s und einer spezifischen Aktivität von  $1000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in der Probe jeweils ca. 20 %. Ist zu vermuten, dass die spezifische Aktivität der zu messenden Nuklide unterhalb von  $500 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  liegt, sollte die Messdauer auf 120 s ausgedehnt werden, um eine Messunsicherheit von 20 % nicht zu überschreiten.

Dies gilt auch für Messungen von erdfeuchten Proben, jedoch ist in diesem Fall für einen Bezug auf die Trockenmasse der Trockenfaktor ausreichend genau zu bestimmen.

## **6 Nachweisgrenzen des Verfahrens**

Nachweisgrenzen werden bei der Anwendung dieses Verfahrens nicht gefordert. Es kann wegen nicht bekannter Verteilungen der Werte der Messgrößen keine einfache Formel für die Berechnung der Nachweisgrenze angegeben werden; Nachweisgrenzen können nur mit numerischen Verfahren bestimmt werden.

## **7 Verzeichnis erforderlichen Chemikalien und Geräte**

### **7.1 Chemikalien**

Es sind keine Chemikalien erforderlich.

### **7.2 Geräte**

- Dosisleistungsmessgerät für Gammastrahlung;
- Kontaminationsmessgerät für Beta- und Gammastrahlung;
- zylindrische Kunststoffdose mit Verschluss,  
z. B. 350 ml Fassungsvermögen, ca.  $65 \text{ cm}^2$  Grundfläche.

**Literatur**

- (1) REGIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz vom 20. Juli 2001, Artikel 1: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), BGBl. I, Nr. 38, S. 1714, Bonn, 26. Juli 2001
- (2) Grundsätze und Methoden zur Berücksichtigung von statistischen Unsicherheiten für die Ermittlung repräsentativer Werte der spezifischen Aktivität von Rückständen, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 197. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Dezember 2004
- (3) Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen, LAGA-Richtlinie PN 98, Berlin: Schmidt. 2002-10
- (4) IAF - Radioökologie GmbH: Erarbeitung einer Messmethode zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Strahler in NORM-Stoffen, Forschungsvorhaben im Auftrag BMU/BfS, BfS StSch 4448, Salzgitter, 2006
- (5) Norm DIN ISO 11464, Bodenbeschaffenheit - Probenbehandlung für physikalisch-chemische Untersuchungen. 2006-12
- (6) Norm DIN ISO 11465, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Trockenrücksubstanz und des Wassergehalts auf Grundlage der Masse - Gravimetrisches Verfahren. 1996-12
- (7) Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 12. Juli 1999, (BGBl. IS. 1554)