



**Schnellmethode zur Bestimmung aerosolpartikelgebundener,  
künstlicher Alphastrahler im Störfall**

Bearbeiter: Th. Steinkopff, Deutscher Wetterdienst, Offenbach  
Chr. Wilhelm, Karlsruher Institut für Technologie

**Inhaltsverzeichnis**

1	Zweck der Überwachungsmaßnahme.....	1
2	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze gemäß REI.....	1
3	Messverfahren .....	2
3.1	Probenentnahme.....	2
3.2	Probenvorbereitung.....	2
3.3	Messung einschließlich Kalibrierung.....	2
3.3.1	Messung .....	2
3.3.2	Kalibrierung .....	3
3.3.3	Aktivitätsberechnung .....	3
3.4	Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze .....	4
3.4.1	Messunsicherheiten.....	4
3.4.2	Erkennungs- und Nachweisgrenze.....	4
3.4.2.1	Anwendungsfall 1 .....	4
3.4.2.2	Anwendungsfall 2 .....	5
3.5	Berechnungsbeispiel .....	6
4	Bewertung des Verfahrens.....	7
5	Dokumentation .....	9

**1 Zweck der Überwachungsmaßnahme**

Die Methode eignet sich zur schnellen Identifizierung von künstlichen, aerosolpartikelgebundener Alphastrahlern insbesondere in einem Störfall, der schnell erste Aussagen über den Nuklidvektor und die Größenordnung der Aktivität in der bodennahen Luft fordert.

**2 Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze gemäß REI**

Die Messgröße ist die Aktivitätskonzentration einzelner Radionuklide in Bq/m<sup>3</sup> als Mittelwert über den Sammelzeitraum.

Die zu fordernde Nachweisgrenze für die Überwachungsaufgabe im Störfall leitet sich aus dem Dosisrichtwert von 5 mSv ab [1]. Für Brennelementfabriken ist beispielsweise bei alphanuklidspezifischen Messungen im Störfall eine untere Nachweisgrenze von 3·10<sup>-3</sup> Bq/m<sup>3</sup> für Alphastrahler gefordert.

Die zu fordernde Nachweisgrenze für die Aktivitätskonzentration einzelner Radionuklide lässt sich aus dem o. g. Dosisrichtwert, der Atemrate und der Aufenthaltsdauer gemäß Gleichung (1) berechnen. Die Atemrate für Personen in der Umgebung variiert von 0,13 m<sup>3</sup>/h für die Altersgruppe < 1 Jahr bis 0,92 m<sup>3</sup>/h für Erwachsene.

$$C = \frac{E}{e \cdot B \cdot T} \quad (1)$$

mit:

E: Dosisrichtwert effektive Dosis oder Äquivalentdosis im Organ oder Gewebe in Sv

e: Dosiskoeffizient (Inhalation) für effektive Dosis oder Äquivalentdosis im Organ oder Gewebe in Sv/Bq

C: zu fordernde Nachweisgrenze für die nuklidspezifische Aktivitätskonzentration in Bq/m<sup>3</sup>



B: Atemrate in  $m^3/h$  oder  $m^3/Tage$   
T: Anzunehmende Aufenthaltsdauer in h oder Tage

Aus den nuklid- und organspezifischen Dosiskoeffizienten der Richtlinie zur Physikalischen Strahlenschutzkontrolle (RiPhyKo) Teil 2 [2] lässt sich die zu fordernde Nachweisgrenze zum Beispiel für das Radionuklid Am-241 (Inhalation, AMAD  $5 \mu m$ ) wie folgt ermitteln:

$$C = \frac{5 \cdot 10^{-3} Sv \cdot 30d}{2,7 \cdot 10^{-5} \frac{Sv}{Bq} \cdot 8100 \frac{m^3}{365d}} = 0,28 Bq / m^3$$

Anmerkung: Als Atemrate wurde der Jahreswert aus der StrlSchV Anlage VII Tabelle 2 [3] von  $8100 m^3/Jahr$  für Erwachsene angesetzt und eine anzunehmende Aufenthaltszeit von 30 Tagen angesetzt.

### **3 Messverfahren**

#### **3.1 Probenentnahme**

Zur Probenentnahme werden handelsübliche Filter auf Glasfaserbasis mit einem Abscheidegrad von 99 % für Partikel mit einer Größe von mehr als  $0,5 \mu m$  eingesetzt. Allerdings dringen Aerosolpartikel in die Filtermatrix ein, erhöhen die Eigenabsorption der Alphastrahlung und verschlechtern damit die Energieauflösung der alphaspektrometrischen Messung. Besser eignen sich Membranfilter, da hier die Aerosolpartikel in sehr dünner Schicht auf der Filteroberfläche verbleiben. Es sind allerdings nur deutlich geringere Luftvolumenströme möglich. Je nach der zur Verfügung stehenden Mess- und Probenentnahmeeinrichtung werden Filter mit einem Durchmesser von 50 mm bis 200 mm verwendet. Bei der Probenentnahme ist der Volumenstrom zu Beginn der Sammlung und am Ende der Sammlung zu messen. Aus dem Mittelwert des Volumenstroms und der Sammelzeit wird das durchgesaugte Luftvolumen bestimmt. Ein genaueres Ergebnis erhält man, wenn das durchgesetzte Luftvolumen direkt mittels einer kalibrierten Gasuhr gemessen wird.

#### **3.2 Probenvorbereitung**

Der Filter wird aus der Sammeleinrichtung entnommen und in eine Messschale gelegt. Diese Messschale wird im Messgerät in Messposition gebracht. Kritisch ist der Transport der Filter von der Probenentnahmestelle zum Messgerät (Messlabor, mobile Messeinrichtung). Es ist sehr genau darauf zu achten, dass keine Partikel von der Oberfläche der Filter abgewischt oder abgeschüttelt werden. Für lange Transportwege hat sich bei Glasfaserfiltern das Bedecken der bestaubten Seite des Filters mit einem Pergamin-Papier und anschließendem Einschweißen des Filters in eine PE-Folie als zuverlässige und verlustfreie Transportart durchgesetzt. Auch beim Auspacken des Filters vor der Messung ist darauf zu achten, dass keine Aerosolpartikel verloren gehen.

#### **3.3 Messung einschließlich Kalibrierung**

##### **3.3.1 Messung**

Der Filter wird in einer Gitterionisationskammer oder in einer Messkammer mit einem Siliziumdetektor Halbleiter Detektor positioniert. Der Abstand zu einem Silizium Detektor muss minimal sein und die Messkammer wird evakuiert. In einer Gitterionisationskammer ist ein Vakuum nicht erforderlich. Je gleichmäßiger die Belegung des Filters, desto besser ist die Auflösung der einzelnen Signale der Alphastrahler. Abbildung 1 zeigt Alphaspektren von vier unterschiedlich lang beaufschlagten Filtern. Zu

erkennen ist die Zunahme der Impulsrate bei längerer Beaufschlagungszeit des Filters sowie die durch die größere Staubbeladung entstehende Peakverbreiterung durch die Selbstabsorption der Alphastrahlung in der Probe. Die Selbstabsorption ist eine Funktion der Flächenmasse der Belegung auf dem Filter.

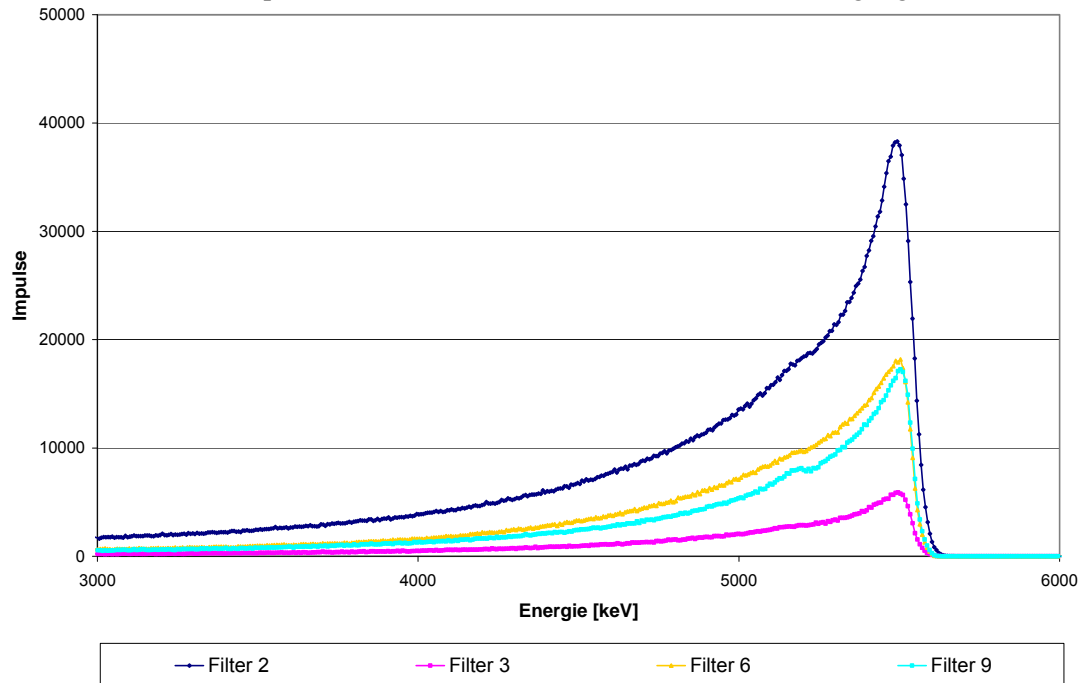


Abb.1: Alphaspektren von unterschiedlich stark bestaubten Filtern, aufgenommen mit einer Gitterionisationskammer

### 3.3.2 Kalibrierung

Die Energiekalibrierung des Detektors wird standardmäßig mit einem Mischpräparat aus künstlichen Alphastrahlern durchgeführt.

Für die Kalibrierung des Verfahrens müssen die Faktoren der Eigenabsorption bekannt sein. Diese hängen von der Belegung des Filters und bei Halbleiter-Detektoren vom Abstand zwischen Filter und Detektor ab. Die Kalibrierung lässt sich nur für eine bekannte Flächenbelegung erreichen. Dazu kann ein Filter beaufschlagt und im Labor die Aktivität und die Belegung gemessen werden. Anschließend wird der Filter durch ein metrologisches Institut (zum Beispiel: Physikalisch Technische Bundesanstalt, PTB) analysiert und so die genaue Aktivitäten bestimmt. Mit dieser Aktivität wird aus der ersten Messung die Ausbeute bestimmt. Dies sollte für mehrere Filter mit unterschiedlicher Belegung durchgeführt werden. Die ermittelten Faktoren fließen in die Berechnung und die Bestimmung der Messunsicherheit ein. Alternativ lässt sich zum Beispiel mit dem Radionuklid Am-241 die Aktivität auch mittels Gammaskopmetrie auf dem Filter bestimmen.

### 3.3.3 Aktivitätsberechnung

Die Berechnung der Aktivität der einzelnen Alphastrahler erfolgt im einfachsten Fall über die Auswertung der Flächen der resultierenden Peaks. Diese werden mittels der standardmäßig zur Verfügung stehenden Software als Summe der Impulse in einem festzulegenden Spektrenbereich (ROI – Region Of Interest) festgelegt. Bei schlecht aufgelösten Spektren überlagern sich die ROIs allerdings stark, was bei Nichtbeachten zu großen Fehlern führen kann. Die genaue Bestimmung der Flächen von sich überlagernden Peaks lässt sich mit Fit-Funktionen deutlich verbessern. Hierzu gibt es kommerzielle Software, wie z. B. das Programm ALPS der Fa. Westmeier.



**LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU**  
**EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG**  
**DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT**

**Blatt: 3.3.7**

Seite: 4 von 9

Stand: Februar 2010

Über die der ROI zugeordneten Impulsrate wird die Aktivitätskonzentration gemäß Gleichung 2 berechnet:

$$A = \frac{R}{\eta \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (2)$$

mit:

- A Aktivitätskonzentration des Radionuklids in Bq/m<sup>3</sup>  
R Zählrate im Peak in s<sup>-1</sup>  
 $\eta$  Wirkungsgrad des Detektors (spezifisch für Filtermaterial, Flächenmasse und Abstand) in Bq<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>  
 $\varepsilon$  Emissionswahrscheinlichkeit des Radionuklids  
V Luftvolumen, das durch den Filter gesaugt wurde, in m<sup>3</sup>

### 3.4 Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze

#### 3.4.1 Messunsicherheiten

Die Gesamt-Unsicherheit der Aktivität setzt sich aus den Unsicherheiten der Kalibrierung, der Nukliddaten, der Fit-Funktion und aus der Bestimmung der Bezugsgröße zusammen. Bei der Unsicherheit wird die unterschiedliche Probenzusammensetzung (Aerosolpartikel) nicht berücksichtigt. Die einzelnen Unsicherheitsbeiträge werden nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz wie folgt addiert (Gl. 3):

$$U = \pm A \cdot k_{1-\gamma/2} \cdot \sqrt{U_K^2 + U_R^2 + U_F^2 + U_m^2} \quad (3)$$

mit:

- U Gesamtunsicherheit der Aktivität in Bq/m<sup>3</sup>  
 $k_{1-\gamma/2}$  Vertrauensniveau der Unsicherheit  
 $U_K$  relative Unsicherheit aus der Kalibrierung  
 $U_R$  relative Unsicherheit aus den Angaben der Emissionswahrscheinlichkeit  
 $U_F$  relative Unsicherheit aus der Fit-Funktion  
 $U_m$  relative Unsicherheit aus der Bestimmung des Luftvolumens

Am Beispiel einer kommerziell erhältlichen Software zeigt sich, dass die Unsicherheit aus der Fit-Funktion zu jeder Peakfläche angegeben werden kann. Sie wird berechnet, indem die Fit-Funktion nach allen mit Unsicherheit behafteten Variablen partiell abgeleitet und die einzelnen Unsicherheitsbeiträge nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung addiert werden. Da die Fit-Funktion der Flächenbestimmung und damit auch der Zahl der aufsummierten Impulse im Peak zu Grunde liegen, wurde die zählstatistische Unsicherheit durch die Unsicherheit aus der Fit-Funktion ersetzt.

#### 3.4.2 Erkennungs- und Nachweisgrenze

##### 3.4.2.1 Anwendungsfall 1

Im Bereich des zu erwartenden Peaks oder eines vorliegenden Peaks liegt nur der Nulleffekt als Untergrund vor (keine höherenergetischen Peaks vorhanden). Damit muss bei der Bestimmung des interessierenden Bereichs nur eine Zählung beachtet werden. Die Berechnung der Erkennungsgrenze und der Nachweisgrenze erfolgt gemäß DIN 25 482 Teil 1 [4] (Gleichungen 4 und 5):

$$EG = k_{1-\alpha} \cdot \frac{\sqrt{R_0 \cdot \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t}\right)}}{\eta \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (4)$$

$$NWG = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \cdot \frac{\sqrt{R_0 \cdot \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t}\right)}}{\eta \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (5)$$

mit:

EG	Erkennungsgrenze in Bq/m <sup>3</sup>
NWG	Nachweisgrenze in Bq/m <sup>3</sup>
k <sub>1-α</sub>	Quantil für den Fehler 1.Art
R <sub>0</sub>	Nulleffekt-Zählrate im Bereich des zu erwartenden Peaks in s <sup>-1</sup>
t <sub>0</sub>	Messzeit des Nulleffekts in s
t	Messzeit der Probe in s
k <sub>1-β</sub>	Quantil für den Fehler 2.Art
η	Wirkungsgrad des Detektors
ε	Emissionswahrscheinlichkeit des Radionuklids für die entsprechende Energie (meist nahe 1,0)
V	Luftvolumen, das durch den Filter gesaugt wurde, in m <sup>3</sup>

Für die Festlegung des interessierenden Bereichs orientiert man sich an DIN 25482 Teil 5 [5] und berechnet die Nulleffekt-Zählrate R<sub>0</sub> im Bereich des zu erwartenden Peaks folgendermaßen:

$$R_0 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{t_0} \quad (6)$$

$$n = K_{\max} + \frac{f \cdot FWHM_S}{2} \quad (7)$$

mit:

R <sub>0</sub>	Nulleffekt-Zählrate im Bereich des zu erwartenden Peaks in s <sup>-1</sup>
i,n	Kanal i bis n
x	Impulse des jeweiligen Kanals
K <sub>max</sub>	Kanalzahl am Peak-Maximum
f	1,25 (empfohlener Wert nach DIN 25482 Teil 5)
FWHM <sub>S</sub>	System-Halbwertsbreite [Kanäle], empfohlen 160 keV

### 3.4.2.2 Anwendungsfall 2

Im Bereich des zu erwartenden Peaks oder eines vorliegenden Peaks liegt zusätzlich zum Nulleffekt mindestens ein höherenergetischer Peak vor. In diesem Fall müssen die Nulleffekt-Zählrate und die Zählraten der Fit-Funktionen zu einer Gesamtzählrate für den interessierenden Bereich aufsummiert werden. Die Erkennungsgrenze und die Nachweisgrenze resultieren aus den Gleichungen 7 und 8.



**LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU**  
**EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG**  
**DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT**

**Blatt: 3.3.7**

Seite: 6 von 9

Stand: Februar 2010

$$EG = k_{1-\alpha} \cdot \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot R}{t}}}{\eta \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (8)$$

$$NWG = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \cdot \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot R}{t}}}{\eta \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (9)$$

mit:

EG	Erkennungsgrenze in Bq/m <sup>3</sup>
NWG	Nachweisgrenze in Bq/m <sup>3</sup>
k <sub>1-α</sub>	Quantil für den Fehler 1. Art
R	Zählrate im Bereich des zu erwartenden Peaks in s <sup>-1</sup>
t	Messzeit der Probe in s
k <sub>1-β</sub>	Quantil für den Fehler 2. Art
η	Wirkungsgrad des Detektors in Bq <sup>-1</sup>
ε	Emissionswahrscheinlichkeit des Radionuklids
V	Luftvolumen in m <sup>3</sup>

Die Impulsrate R im Bereich des zu erwartenden Peaks wird folgendermaßen berechnet:

$$R = R_0 + \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m \frac{x_j}{t} \right)_i \quad (10)$$

$$n = K_{\max} + \frac{f \cdot FWHM_S}{2} \quad (11)$$

mit:

R	Zählrate im Bereich des zu erwartenden Peaks in s <sup>-1</sup>
R <sub>0</sub>	Nulleffekt-Zählrate im Bereich des zu erwartenden Peaks in s <sup>-1</sup>
i, n	Kanal i bis n
j, m	Höherenergetische Peaks j bis m
x	Impulse des jeweiligen Peaks j im Kanal i aus der Fit-Funktion
t	Messzeit in s
K <sub>max</sub>	Kanalzahl am Peak-Maximum
f	1,25 (empfohlener Wert nach DIN 25482 Teil 5)
FWHM <sub>S</sub>	System-Halbwertsbreite

### 3.5 Berechnungsbeispiel

Dem Berechnungsbeispiel liegt ein Spektrum mit einem gemessenen Am-241-Peak zu Grunde. Die angegebenen Daten stammen aus dem Auswerte- und Messprogramm (R, η, U<sub>S</sub>, R<sub>F</sub>, t, t<sub>0</sub>, R<sub>0</sub>), aus der Nuklidkarte (ε, U<sub>R</sub>), aus dem Zertifikat des gemessenen Kalibrierpräparats (U<sub>K</sub>) und aus der DIN 25482, Teil 1 (k<sub>1-α</sub>, k<sub>1-β</sub>, k<sub>1-γ/2</sub>). Mittels dieser Angaben wurden die Aktivität mit zugehöriger Unsicherheit, sowie die Nachweis- und Erkennungsgrenze für Am-241 berechnet.



**LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU**  
**EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG**  
**DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT**

**Blatt: 3.3.7**

Seite: 7 von 9

Stand: Februar 2010

Als Beispiel für den Anwendungsfall 2 wurde berechnet, wie groß die Nachweis- und Erkennungsgrenze für einen U-233-Peak wäre.

Tab. 1: Angaben und Ergebnisse

<b>Parameter</b>	
Durch den Filter in 15 Minuten gesaugtes Luftvolumen	30 m <sup>3</sup>
Zählrate im Bereich des Am-241-Peaks	$R = 436,7 \text{ s}^{-1}$
Nulleffekt-Zählrate im Bereich des Am-241-Peaks	$R_{0, \text{Am-241}} = 33,9\text{E-}03 \text{ s}^{-1}$
Messzeit der Probe	$t = 3600 \text{ s}$
Messzeit des Nulleffekts	$t_0 = 60000 \text{ s}$
Wirkungsgrad des Detektors	$\eta = 41,5 \%$
Emissionswahrscheinlichkeit von Am-241	$\epsilon_{\text{Am-241}} = 85,0 \%$
Emissionswahrscheinlichkeit von U-233	$\epsilon_{\text{U-233}} = 84,4 \%$
Relative Unsicherheit aus der Kalibrierung	$U_K = 3,00 \%$
Relative Unsicherheit der Emissionswahrscheinlichkeit	$U_R = 0,60 \%$
Relative Unsicherheit aus der Fit-Funktion	$U_S = 7,3 \%$
Nulleffekt-Zählrate im zu erwartenden Bereich	$R_{0, \text{U-233}} = 23,4 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
Aufsummierte Impuls-Zählrate aus der Fit-Funktion	$R_F = 101,8 \text{ s}^{-1}$
Quantil der Standardnormalverteilung	$k_{1-\alpha} = 1,645$
Quantil der Standardnormalverteilung	$k_{1-\beta} = 1,645$
Vertrauensniveau der Unsicherheit	$k_{1-\gamma/2} = 1,960$
<b>Ergebnisse</b>	
Aktivitätskonzentration des Radionuklids	$A (\text{Am-241}) = 41 \text{ Bq/m}^3$
Unsicherheit der Aktivitätskonzentration	$U = \pm 6,4 \text{ Bq/m}^3$
Erkennungsgrenze für Am-241 gemäß Anwendungsfall 1	$EG = 0,49 \text{ mBq/m}^3$
Nachweisgrenze für Am-241 gemäß Anwendungsfall 1	$NWG = 0,98 \text{ mBq/m}^3$
Erkennungsgrenze für U-233 gemäß Anwendungsfall 2	$EG = 36 \text{ mBq/m}^3$
Nachweisgrenze für U-233 gemäß Anwendungsfall 2	$NWG = 73 \text{ mBq/m}^3$

#### 4 Bewertung des Verfahrens

- zuverlässig
- schnell
- auch kleine Energieunterschiede bei Fit-Funktion noch auflösbar
- genau
- ausreichende Nachweisgrenze

Vergleicht man die im Beispiel erreichte Nachweisgrenze von Am-241 mit der geforderten Nachweisgrenze von 1 mBq/m<sup>3</sup> für Brennelementfabriken liegt diese deutlich darunter und sehr deutlich unter der in Kapitel 2 berechneten Nachweisgrenze von 280 mBq/m<sup>3</sup> für einen 30 Tage Aufenthalt.

Die Möglichkeiten der Auflösung einer Fit-Funktion zeigt Abbildung 1 am Beispiel eines Spektrums der Radionuklide Am-241 und Pu-239. Die Ergebnisse für die Messung von Am-241 sind mit denen aus gammaspektrometrischen Messungen im Rahmen der Messunsicherheiten sehr gut in Übereinstimmung (Tab. 2).

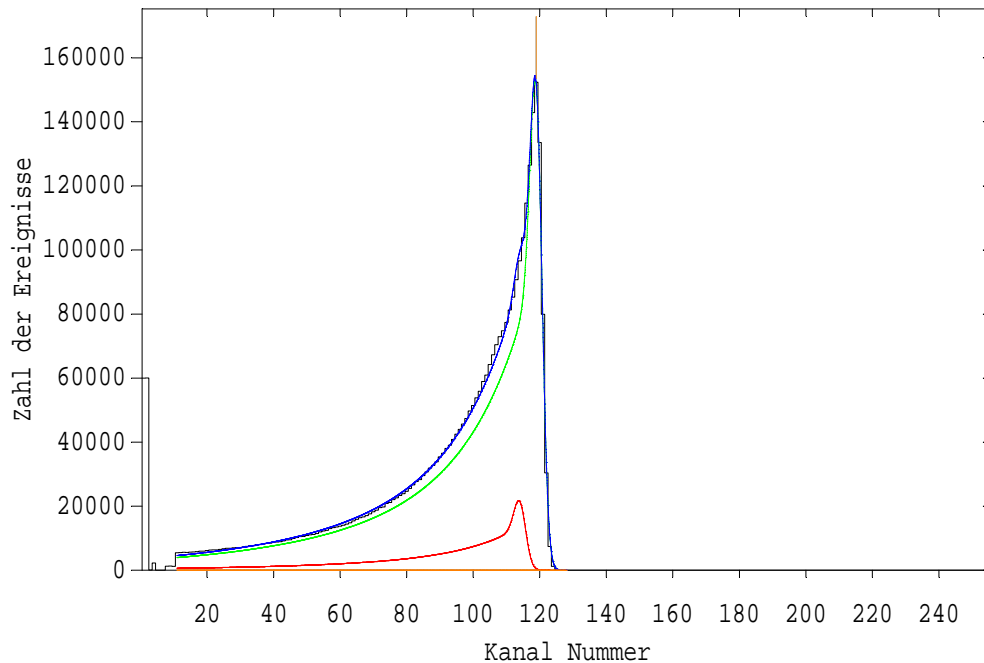


Abb. 2: Auswertung des Filters 2 mit der Software ALPS mit Darstellung der Peak-Fit-Funktionen (grün = Am-241, rot = Pu-239, blau = Summenfunktion)

In Tab. 2 sind die ermittelten Am-241-Aktivitäten von vier Filtern mittels Gammaskpektrometrie (HPGe-Detektor) und Alphaspektrometrie (Gitterionisationskammer) aufgelistet. Alle Werte stimmen im Rahmen der Messunsicherheiten miteinander überein. Die nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (siehe Gleichung 3) berechneten Messunsicherheiten der Gitterionisationskammer liegen zwischen 11 % und 20 %.

Tab. 2 Vergleich der ermittelten Am-241 Aktivitäten der bestaubten Filter mittels Gammaskpektrometrie und Alphaspektrometrie mit Gitterionisationskammer

	Gammaskpektrometrie Bq/Probe	Alphaspektrometrie mit Gitterionisationskammer Bq/Probe
Filter 1	127,0 ± 13,6	128,0 ± 14,3
Filter 2	16,1 ± 2,3	19,2 ± 3,7
Filter 3	48,6 ± 5,4	59,1 ± 9,2
Filter 4	35,5 ± 7,2	44,7 ± 7,0





## **5 Dokumentation**

Die Ergebnisse werden am besten in einem Prüfbericht dokumentiert. Dieser muss die Anforderungen von DIN EN ISO/IEC 17025 [6] erfüllen und folgende Informationen enthalten:

- Bezeichnung der Probe
- Maßeinheiten, in denen die Ergebnisse angegeben sind
- Messergebnisse mit Angabe der Messunsicherheiten
- Quantile  $k_{1-\alpha}$ ,  $k_{1-\beta}$  und  $k_{1-\gamma/2}$
- Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze
- Ort und Datum und Zeitraum der Filterbeaufschlagung
- Besonderheiten bei der Auswertung

## **6 Literatur**

- [1] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, GMBI. Nr. 14 – 17 vom 23.03.2006, S. 253 – S. 336 (mit den Anhängen A, B, C1 und C2 und D)
- [2] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bzw. innerer Strahlenexposition vom 12.01.2007
- [3] Verordnung für die Umsetzung von EURATOM – Richtlinien zum Strahlenschutz (Artikel 1: Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, S. 1714, 2002, 1459), zuletzt geändert durch Artikel 3 § 15 Nr. 1 und 2 des Gesetzes vom 13. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2930), [http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv\\_2001](http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2001), Einsichtnahme: 12.03.2010
- [4] Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, DIN 25482, Teil 1: Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbeeinflussungseinflusses, April 1989
- [5] Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, DIN 25482, Teil 5: Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbeeinflussungseinflusses, Juni 1993
- [6] Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, DIN EN ISO/IEC 17025, August 2005

---

Bitte beachten Sie den Hinweis im Losen Blatt 1.3 „Erläuterungen zur Loseblattsammlung“.