

Verfahren zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration von Iod-129 in der Fortluft kerntechnischer Anlagen

J-I-129-ALUFT-01

Bearbeiter:
A. Heckel

Leitstelle für Fortluft aus kerntechnischen Anlagen

Verfahren zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration von I-129 in der Fortluft kerntechnischer Anlagen

1 Anwendbarkeit

Das nachfolgend beschriebene Verfahren eignet sich zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration des aerosolpartikelgetragenen Radionuklides Iod-129 (I-129) in der Fortluft kerntechnischer Anlagen, insbesondere in der Fortluft von Endlagern.

2 Probeentnahme

In der Fortluft kerntechnischer Anlagen liegt I-129 an Aerosolpartikeln mit einem Durchmesser von 0,1 µm bis 0,8 µm gebunden oder gasförmig in Form von elementarem Iod, Methyljodid oder hypoiodiger Säure vor. Zur Probeentnahme wird aus der Fortluft mittels eines Probeentnahmesystems ein repräsentativer Teilluftstrom möglichst isokinetisch entnommen und über geeignete Sammelmedien geleitet, wie es in der Literatur (1, 2) und der Messanleitung J-γ-SPEKT-ALUFT-03 beschrieben ist.

I-129-Aktivität tragende Aerosolpartikeln werden kontinuierlich auf einem Schwebstofffilter mit einem Abscheidegrad über 0,995 (z. B. HEPA-Filter H12 nach DIN EN 1822, Teil 1) abgeschieden (3, 4). Dabei ist darauf zu achten, dass die Schwebstofffilter möglichst wenig gasförmiges Iod absorbieren. Glasfaserfilter ohne organische Bindemittel (siehe Abschnitt 7.1) eignen sich für diesen Zweck, besitzen aber den Nachteil geringer mechanischer Festigkeit. Des Weiteren werden auch Teflonmembranfilter mit Nylonstützgewebe, das die mechanische Stabilität verbessert, eingesetzt.

Gasförmiges I-129 in Form von elementarem Iod, als organische Verbindung, wie z. B. Methyljodid, oder als anorganische Verbindung, wie z. B. hypoiodige Säure, wird an Feststoffschüttungen absorbiert. Diese Feststoffschüttungen müssen die Iodverbindungen auch bei einer relativen Luftfeuchte bis zu 90 % quantitativ absorbieren.

Zur selektiven Abtrennung von elementarem Iod dient Aktivkohlegranulat oder das Silikat DSM-11 mit einer Beschichtung von ca. 1 % Kaliumiodid (5). Aktivkohlegranulat, das mit einigen Prozent Triethylendiamin (TEDA), Hexamethylentetramin (HMTA) oder 1 % bis 3 % Kaliumiodid (KI) bzw. Kaliumiodat (KIO_4) imprägniert ist, absorbiert sowohl elementares als auch organisch gebundenes Iod (2, 5, 6).

Soll gasförmiges elementares Iod und als organische Verbindung vorliegendes Iod getrennt erfasst werden, kommen zwei Absorberpatronen, die parallel angeordnet sind, zur Anwendung (Abbildung 1). Ist für die Bestimmung der Aktivität von I-129 eine gammaspektrometrische Untersuchung ohne vorhergehende radiochemische Trennung vorgesehen, so ist eine serielle Anordnung der beiden eingesetzten Absorptionsmittel in einer Patrone möglich, wobei beide Materialien durch ein Drahtgitter voneinander getrennt werden. Dabei wird das beschichtete Silikat DSM-11 als erstes Absorptionsmittel eingesetzt, um elementares Iod zu binden, während organisch vorliegendes Iod an die nachfolgende Aktivkohle, die mit 5 % TEDA beschich-

tet ist, absorbiert wird. Bei dieser Anordnung ist eine radiochemische Aufarbeitung der Absorbermaterialien schwierig, da vom Silikat DSM-11 ein Teil der Kaliumiodid-Beschichtung mit dem Luftstrom auf die Aktivkohle verschleppt wird.

Für die Feststoffschüttungen werden in der Regel zylindrische Behälter aus Edelstahl oder Glas (Filterpatronen) mit einem Durchmesser von ca. 5 cm und einer Länge von ca. 15 cm eingesetzt. Es ist darauf zu achten, den Volumenstrom so zu wählen, dass die Kontaktzeit mit der Feststoffschüttung wenigstens 0,2 s beträgt (2), oder die Luft bzw. die Feststoffschüttung auf über 50 °C bis 100 °C zu erhitzen, da nur dann ein Abscheidegrad von über 0,95 auch bei höherer relativer Luftfeuchte gewährleistet ist. Die Volumenströme durch die Filterpatronen betragen meist einige $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Zur Abtrennung der Aktivität von aerosolpartikelgetragenen Iodisotopen oder anderen möglicherweise störenden Radionukliden werden vor den Feststoffschüttungen Schwebstofffilter angebracht.

Die Materialien der zur Probeentnahme verwendeten Rohre und Geräte dürfen mit den Iodverbindungen nicht chemisch reagieren. Gut geeignet sind z. B. polierter Edelstahl, Glas, bedingt auch Teflon oder Hartpolyethylen (1, 2). Kupfer oder Kunststoffe, die Iod absorbieren oder mit Iod Verbindungen eingehen, dürfen nicht benutzt werden (2).

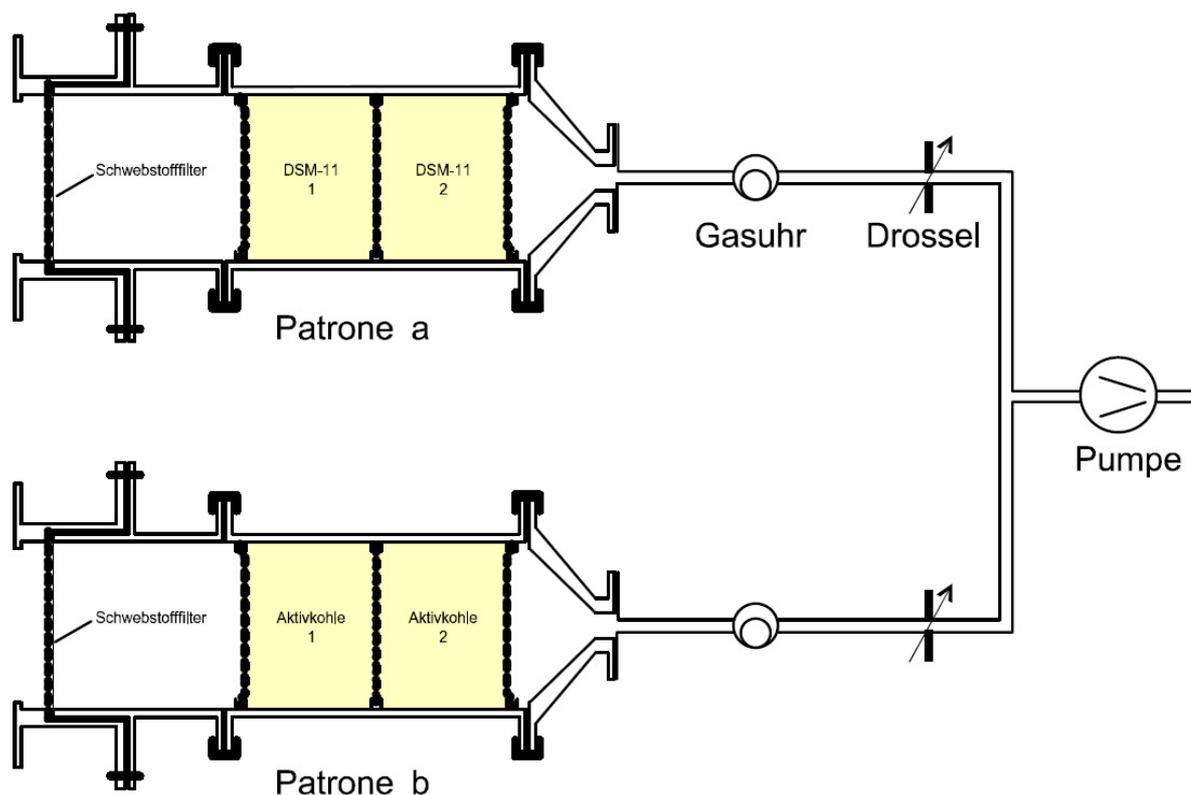


Abb. 1: Schema der Probeentnahmeeinrichtung

3 Analyse

3.1 Prinzip des Verfahrens

Die Aktivkohle wird mit I-125 bzw. I-131 als Radiotracer, falls die Anwesenheit von I-131 in der Aktivkohle aus der Fortluft ausgeschlossen werden kann, und mit einer Iodträgerlösung – bei Verwendung von nicht imprägnierter Aktivkohle – versetzt. Anschließend wird die Aktivkohle mit Natronlauge ausgelaugt und die Lösung filtriert. Das Filtrat wird mit Natriumhypochloritlösung versetzt und angesäuert.

Das Silikat DSM-11, an das das Iod gebunden ist, wird in eine Extraktionshülse gegeben, mit Natronlauge und mit einem der oben genannten Radiotracer versetzt und im Soxhlet-Extraktor extrahiert. Der Extrakt wird in ein Becherglas überführt und auf ein Volumen von ca. 50 ml eingengt. Falls sich noch Rückstände des Silikats in der Lösung befinden, werden diese über ein Blaubandfilter mit einer Hahnschen Nutsche geben. Die eingengte Lösung bzw. das Filtrat wird mit einer Natriumhypochloritlösung versetzt und angesäuert.

Mit Hilfe einer Flüssig-Flüssig-Extraktion mit Tetrachlorkohlenstoff und Hydroxylammoniumhydrochloridlösung wird das Iod in die organische Phase ausgeschüttelt. Die Rückextraktion erfolgt unter Zugabe einer Natriumhydrogensulfidlösung. Das Iod wird mit Palladiumchlorid gefällt, die chemische Ausbeute gravimetrisch bzw. mit Hilfe des eingesetzten Radiotracers ermittelt und die Aktivität des I-129 gamma-spektrometrisch oder im Low-level-Betamessgerät bestimmt (7, 8, 9). Das radiochemische Trennverfahren ist in Abbildung 2 dargestellt.

3.2 Probenvorbereitung

3.2.1 Ein aliquoter Teil der Aktivkohle wird in ein 400 ml-Becherglas gegeben und mit 1 ml Iodträgerlösung (100 mg I^-), 100 ml Natronlauge ($2 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) und Tracerlösung geeigneter Aktivität versetzt. Das Becherglas wird mit einem Uhrglas abgedeckt und die Lösung unter Rühren zum Sieden erhitzt. Nach zwei Stunden wird die Lösung mit der Aktivkohle über eine Hahnsche Nutsche mit Blaubandfilter abgesaugt und die Aktivkohle mit 100 ml Wasser gewaschen.

3.2.2 Ein aliquoter Teil des Silikates DSM-11 wird in eine Extraktionshülse gegeben und mit 10 ml Natronlauge ($9 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) und Tracerlösung geeigneter Aktivität versetzt. Das Iod wird im Soxhlet-Extraktor mit 500 ml Wasser aus dem DSM-11 extrahiert. Nach vier Stunden wird der Extrakt in ein 600 ml-Becherglas überführt.

3.3 Radiochemische Trennung

3.3.1 Abtrennung aus Aktivkohle

3.3.1.1 Nach der Probenvorbereitung (siehe Abschnitt 3.2.1) wird das mit der Waschlösung vereinigte Filtrat auf ca. 50 ml in einem Becherglas durch Erhitzen eingengt und nach dem Abkühlen mit 50 ml 6 %iger Natriumhypochloritlösung versetzt. Die Lösung wird 15 Minuten stark gerührt.

3.3.1.2 Zu dieser Lösung gibt man langsam unter Rühren soviel konzentrierte Salpetersäure ($24 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$), bis das gesamte Chlorgas entwichen ist.

Anmerkung

Wegen der stark exothermen Reaktion und einer heftigen Chlorgasbildung sollte in einem Eisbad gearbeitet werden und die Salpetersäure sehr langsam zugegeben werden.

3.3.1.3 Die Lösung wird nun in einen 250 ml-Schütteltrichter überführt und mit 10 ml Salpetersäure ($24 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) und 10 ml Hydroxylammoniumhydrochloridlösung ($0,7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) versetzt. Man lässt das Gemisch ca. 10 Minuten reagieren (*Achtung!* Weitere Gasbildung möglich!) und schüttelt anschließend mit 20 ml Tetrachlorkohlenstoff aus. Die violett gefärbte, organische Phase wird in einen zweiten 250 ml-Schütteltrichter überführt.

3.3.1.4 Die wässrige Phase wird nochmals mit weiteren 10 ml Hydroxylammoniumhydrochloridlösung ($0,7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) versetzt. Nach 10minütigem Warten wird erneut mit ca. 20 ml Tetrachlorkohlenstoff ausgeschüttelt und die organische Phase abgetrennt. Diesen Schritt wiederholt man solange, bis die zugegebene organische Phase farblos bleibt.

3.3.1.5 Zu den vereinigten organischen Phasen aus den Abschnitten 3.3.1.3 und 3.3.1.4 gibt man ca. 50 ml destilliertes Wasser und wenige Tropfen einer frisch hergestellten Natriumhydrogensulfitlösung ($1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) und schüttelt das sich in der organischen Phase befindliche Iod in die wässrige Phase aus.

3.3.1.6 Die wässrige Phase wird in ein Becherglas abgelassen und mit einem Tropfen Salzsäure ($10 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) angesäuert. Nach Zugabe von 3 ml Palladiumchloridlösung (21 mg Pd^{2+}) fällt das Iod als braunschwarzer Palladiumiodid-Niederschlag aus.

3.3.1.7 Nachdem sich der Niederschlag agglomeriert hat, wird er nach ca. 20 Minuten auf einem zuvor ausgewogenen Polycarbonatfilter mit einer Porengröße von $0,2 \mu\text{m}$ auf einer Hahnschen Nutsche abgeschieden. Man wäscht den Niederschlag mit ca. 20 ml destilliertem Wasser und anschließend mit wenig Ethanol.

3.3.1.8 Nach 20minütigem Trocknen bei $110 \text{ }^\circ\text{C}$ im Trockenschrank wird der Filter mit dem Niederschlag erneut ausgewogen. Die Ausbeute lässt sich aus der Masse des Palladiumiodid-Niederschlages bestimmen und beträgt mindestens 80 %.

3.3.2 Abtrennung aus dem Silikat DSM-11

3.3.2.1 Nachdem der Extrakt, wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, in ein Becherglas überführt wurde, wird er bis auf ein Volumen von ca. 50 ml eingengt. Treten dabei noch Rückstände von DSM-11 auf, wird die Lösung über ein Blaubandfilter in einer Hahnschen Nutsche gegeben.

3.3.2.2 Die eingengte Lösung bzw. das Filtrat wird mit 30 ml 6 %iger Natriumhypochloritlösung versetzt und 15 Minuten gerührt.

3.3.2.3 Die weiteren Schritte werden analog der Abschnitte 3.3.1.2 bis 3.3.1.7 durchgeführt.

3.3.2.4 Der Polycarbonatfilter mit dem Palladiumiodid-Niederschlag wird im Trockenschrank bei $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 20 Minuten getrocknet und ausgewogen. Die Ausbeute lässt sich aus der Masse des Palladiumiodid-Niederschlages bestimmen und beträgt mindestens 85 %.

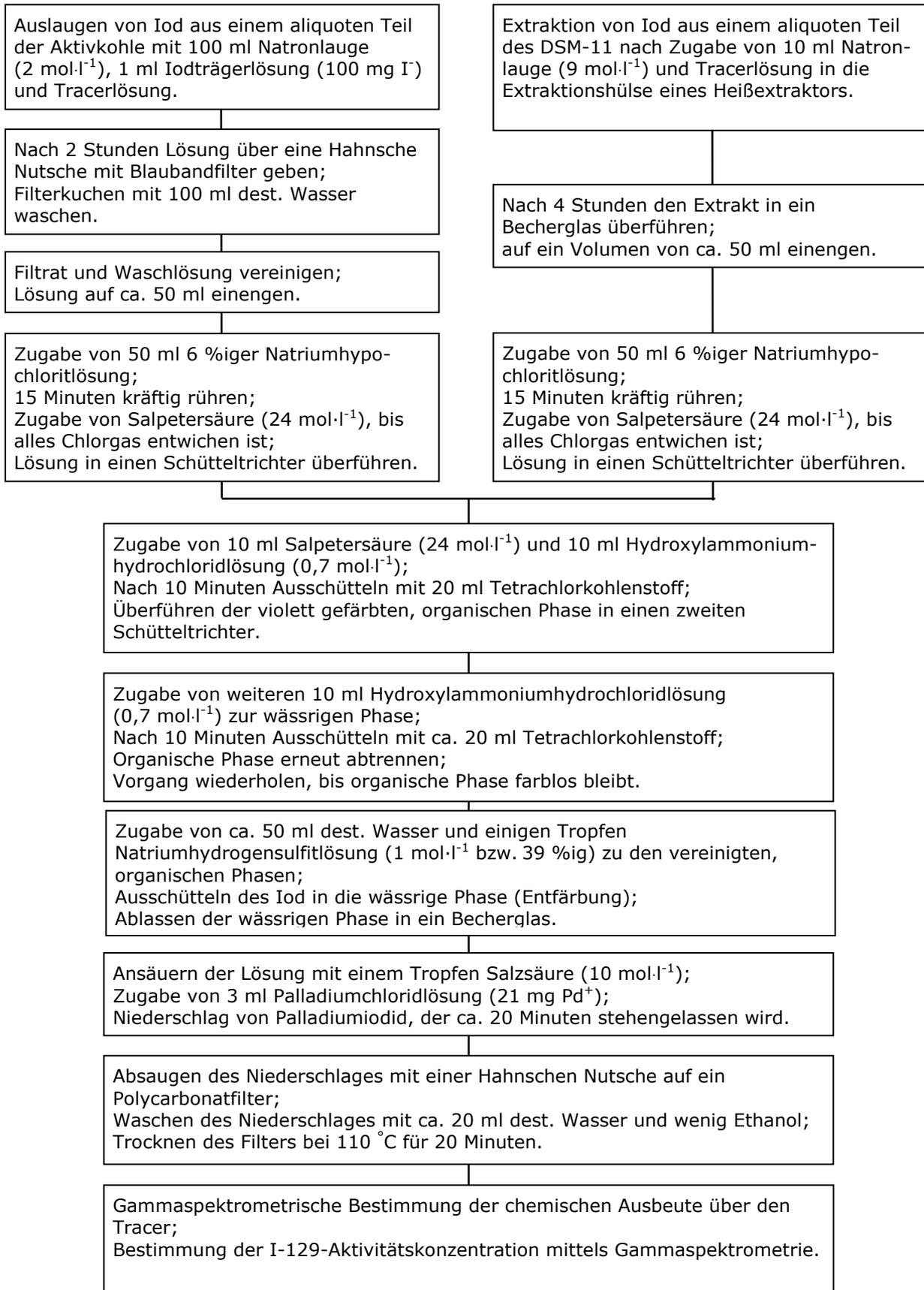


Abb. 2: Schema des radiochemischen Trennungsgangs

4 Messung der Aktivität

4.1 Allgemeines

Die Aktivität von I-129 auf dem mit Palladiumiodid belegten Polycarbonatfilter aus Abschnitt 3.3.1.8 oder 3.3.2.4 kann entweder gammaspektrometrisch oder mit einem Low-level-Betamessgerät gemessen werden. Die mit dem aerosolpartikelgetragenen Radionuklid I-129 beladenen Schwebstofffilter werden nur gammaspektrometrisch ohne vorhergehende radiochemische Aufarbeitung gemessen (9).

Der Vorteil der gammaspektrometrischen Bestimmung der Aktivität von I-129 liegt vor allem, darin, dass weder der kurzlebige Tracer I-131 noch der Tracer I-125 die Ausbeutebestimmung bei der Auswertung des Spektrums stören. Wird die Messung mit einem Low-level-Betamessgerät mit einem Proportionalzählrohr durchgeführt, so muss die Aktivität des eingesetzten Tracers bei der Bestimmung der I-129-Aktivität berücksichtigt werden, was unter Umständen zu Schwierigkeiten führen kann. Deshalb wird im Allgemeinen eine Bestimmung der I-129-Aktivität mit gammaspektrometrischen Methoden bevorzugt.

Des Weiteren können neben den oben erwähnten Methoden auch die Neutronenaktivierungsanalyse sowie nicht-radiometrische Verfahren zur Bestimmung der Aktivität eingesetzt werden. Zu den Letzteren zählen sowohl die Laserfluoreszenzspektrometrie als auch verschiedene Arten der Massenspektrometrie. Stehen diese Möglichkeiten zur Verfügung, können wesentlich geringere Nachweisgrenzen der I-129-Aktivität erreicht werden (10).

Die Werte der Nachweisgrenzen sowie die benötigte Messdauer für alle erwähnten Verfahren können Tabelle 1 entnommen werden (9, 10).

Tab. 1: Messmethoden für I-129 und ihre Nachweisgrenzen nach radiochemischer Aufarbeitung (9, 10)

Art der Methode	Methode	Nachweisgrenze in Bq	Messdauer in Stunden
radiometrisch	Gammaspektrometrie	0,001	50
	Betaspektrometrie Proportionalzählrohr	0,015	10
	Neutronenaktivierungsanalyse	$6 \cdot 10^{-6}$	20
nicht-radiometrisch	Laserfluoreszenzspektrometrie	$6 \cdot 10^{-5}$	1
	Massenspektrometrie	$6 \cdot 10^{-5}$	1
	Beschleuniger-Massenspektrometrie	$6 \cdot 10^{-6}$	1
	Sekundärionen-Massenspektrometrie	0,001	5

4.2 Messanordnung

Die Aktivität von I-129 wird über die Linie mit der Energie von 39,58 keV mit einem Gammaskpektrometer nuklidspezifisch gemessen. Dazu wird der beladene Schwebstoff- oder Polycarbonatfilter plan und axialsymmetrisch auf einen planaren Halbleiterdetektor (Reinstgermanium-Detektor für kleine Photonenenergien) gelegt, der zum genauen Zentrieren der Filter Markierungen unterschiedlicher Größe aufweist, gelegt und einen Tag gemessen. Zur Verhinderung einer Kontamination der Messapparatur wird der Polycarbonatfilter zwischen zwei dünne Kunststofffolien oder in eine dünne Kunststofftüte gelegt und mit einer Kunststoffscheibe von ca. 3 mm Dicke beschwert, um eine Verformung des Filters und damit eine Änderung der Messgeometrie zu vermeiden.

Soll die chemische Ausbeute des radiochemischen Trennungsganges mit Hilfe des Radiotracers I-131 bestimmt werden, sollte die Messung wegen dessen geringer Halbwertszeit nach Möglichkeit innerhalb einer Woche nach Ende der radiochemischen Aufarbeitung erfolgen. Nach dem Abklingen der Traceraktivität kann die Bestimmung der Aktivität des I-129 durchgeführt werden.

4.3 Kalibrierung der Messanordnung

Zur Kalibrierung der Messanordnung wird zunächst die radiochemische Aufarbeitung, wie in Abschnitt 3 beschrieben, mit einer I-129-Lösung bekannter Aktivität und dem Radiotracer I-125 bzw. I-131 zur Ausbeutebestimmung durchgeführt. Nachdem der Palladiumiodid-Niederschlag auf einem Polycarbonatfilter der gleichen Art und Abmessung wie bei der Probe abgeschieden und getrocknet wurde, wird dieses Kalibrierpräparat in derselben Messgeometrie wie das Messpräparat einen Tag gemessen.

Zur Kalibrierung der Messanordnung für die direkte Messung von Schwebstofffiltern wird auf einen der Art und Abmessung identischen Schwebstofffilter eine I-129-Lösung bekannter Aktivität möglichst homogen aufgegeben. Weitere Angaben zur Kalibrierung können dem Verfahren J-I-131-ALUFT-01 dieser Messanleitungen entnommen werden.

5 Berechnung der Analyseergebnisse

5.1 Gleichungen zur Berechnung

Aus dem aufgenommenen Spektrum wird die Nettoimpulsanzahl, wie im Kapitel IV.1 dieser Messanleitungen beschrieben, mit Hilfe eines Rechners ermittelt. Aus der Nettoimpulsanzahl, dem nach Abschnitt 4.3 bestimmten Kalibrierfaktor, dem Probeentnahmezeitraum, dem Luftdurchsatz und der Messdauer wird die Aktivitätskonzentration von I-129 in der Fortluft bestimmt. Aufgrund der Halbwertszeit von I-129 von $1,6 \cdot 10^7$ a muss der Messwert bezüglich Probeentnahmezeit, Abklingzeit und Messdauer nicht mehr korrigiert werden.

Die I-129-Aktivitätskonzentration in der Fortluft wird nach Gleichung (1) für aerosolpartikelgetragenes sowie gasförmiges I-129 berechnet. Für die Berechnung der Aktivitätskonzentration von gasförmigem I-129 muss der aliquote Anteil q_m in der Gleichung berücksichtigt werden.

$$c = \frac{\varphi_A \cdot N_n \cdot q}{q_m \cdot \eta \cdot t_m \cdot V} \quad (1)$$

Die relative Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration wird nach Gleichung (2) berechnet:

$$\frac{s(c)}{c} = \sqrt{\left(\frac{s(N_n)}{N_n}\right)^2 + \left(\frac{s(\varphi_A)}{\varphi_A}\right)^2 + \left(\frac{s(\eta)}{\eta}\right)^2} \quad (2)$$

Dabei bedeuten in den Gleichungen (1) und (2):

- c Aktivitätskonzentration in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;
- $s(c)$ Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;
- $s(\varphi_A)$ Standardmessunsicherheit des Kalibrierfaktors in $\text{Bq} \cdot \text{s}$;
- $s(\eta)$ Standardmessunsicherheit der chemischen Ausbeute;
- N_n Nettoimpulsanzahl;
- t_m Messdauer in s;
- φ_A Kalibrierfaktor in $\text{Bq} \cdot \text{s}$;
- η chemische Ausbeute;
- q Gesamtverlustfaktor (siehe J- γ -SPEKT-ALUFT-03);
- q_m aliquoter Anteil;
- V Luftdurchsatz in m^3 .

5.2 Rechenbeispiel

Als Beispiel wird die Berechnung der Aktivität für gasförmiges organisch gebundenes I-129 angegeben. Aus der Fortluft einer kerntechnischen Anlage wurde ein Teilluftstrom von $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ durch ein Schwebstofffilter und einen mit 5 % TEDA imprägnierter Aktivkohle gefüllten Behälter über einen Zeitraum von 35 Tagen geleitet. Die Sammelmedien wurden verschickt und von den 53 g imprägnierter Aktivkohle 17,5 g für die radiochemische Aufarbeitung verwendet. Nach der Aufarbeitung wurde das Messpräparat über einen Zeitraum von 60000 s gemessen. Nach Messung der Aktivität des I-129 in der Aktivkohle liegen folgende Daten vor:

$$\begin{aligned} N_n &= 147; & t_m &= 60000 \text{ s}; \\ \varphi_A &= 250 \text{ Bq} \cdot \text{s}; & \eta &= 0,874; \\ q &= 1; & V &= 1008 \text{ m}^3; \\ q_m &= 0,33. \end{aligned}$$

$$c = \frac{250 \cdot 147 \cdot 1}{0,33 \cdot 0,874 \cdot 60000 \cdot 1008} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 2,1 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Bei einer zählstatistischen Standardmessunsicherheit der Nettoimpulsanzahl von 10 %, einer relativen Standardmessunsicherheit des Kalibrierfaktors von 5 % und einer relativen Standardmessunsicherheit der chemischen Ausbeute von 10 % beträgt der Wert der relativen Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration gemäß Gleichung (2):

$$\frac{s(c)}{c} = \sqrt{0,1^2 + 0,05^2 + 0,1^2} = 0,15$$

Damit beträgt die Aktivitätskonzentration:

$$c = (2,1 \pm 0,3) \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

5.3 Unsicherheiten der Analyseergebnisse

Die Hauptbeiträge der Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration sind die zählstatistischen Standardmessunsicherheiten und die Standardmessunsicherheiten des Kalibrierfaktors und der chemischen Ausbeute. Die Standardmessunsicherheit des Volumens ist demgegenüber gering. Die Standardmessunsicherheiten der Aktivitätskonzentration liegen in der Regel zwischen 10 % und 20 %.

6 Nachweisgrenzen des Verfahrens

6.1 Gleichungen zur Berechnung

Die Nachweisgrenze g der Aktivitätskonzentration wird gemäß Kapitel IV.5 dieser Messanleitungen nach Gleichung (3) berechnet:

$$g = \frac{\varphi_A \cdot q}{q_m \cdot \eta \cdot V} \cdot \frac{k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}}{2 \cdot t_m} \cdot \left(k_{1-\alpha} + \sqrt{k_{1-\alpha}^2 + 4 \cdot b \cdot \bar{R}_0(E_\gamma) \cdot t_m \cdot \left(1 + \frac{b}{2 \cdot L}\right)} \right) \quad (3)$$

Bei Gleichung (3) bedeuten:

$\bar{R}_0(E_\gamma)$ mittlere Nulleffektzählrate pro Kanal;

b Fußbreite einer Gammalinie (Peakfußbreite) in Anzahl der Kanäle;

L Anzahl der zur Untergrundbestimmung verwendeten Kanäle auf einer Seite der Linie.

6.2 Rechenbeispiel

Für das obige Rechenbeispiel ergibt sich bei einer Linienfußbreite von vier Kanälen, einer Kanalbreite für die Untergrundbestimmung von zwei Kanälen, einer mittleren Nulleffektzählrate $\bar{R}_0(E_\gamma)$ von $0,001 \text{ s}^{-1}$ und einer Messdauer des Nulleffektes von 60000 s eine Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration beträgt gemäß Gleichung (3) mit den Werten für die Quantile $k_{1-\alpha} = 3$ und $k_{1-\beta} = 1,645$:

$$g = \frac{250 \cdot 1}{0,33 \cdot 0,874 \cdot 1008} \cdot \frac{4,645}{2 \cdot 60000} \cdot \left(3 + \sqrt{9 + 4 \cdot 4 \cdot 0,0001 + 60000 \cdot \left(1 + \frac{4}{2 \cdot 2}\right)} \right) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} =$$

$$= 0,8599 \cdot 0,0000387 \cdot (3 + \sqrt{9 + 192}) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 0,57 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

7.1 Chemikalien

Die verwendeten Chemikalien sollten analysenrein sein.

- Aktivkohle: Korngroße 0,3 µm bis 0,8 µm; mit einigen Prozent TEDA beschichtet (z. B. Typ 207B, Sutcliffe Speakman LTD);
- DSM-11: Silikat mit 1 % bis 5% KI beschichtet;
- Ethanol;
- Hydroxylammoniumhydrochloridlösung, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$: $0,7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, frisch hergestellt;
- I-125- bzw. I-131-Tracerlösung: wässrige Lösung bekannter Aktivitätskonzentration (einige kBq pro ml) mit Zusatz von Natriumbisulfit ($45 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) und Formalin ($0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$);
- Iodträgerlösung, NaI : $100 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1} \text{ I}^-$;
- Natriumhypochloritlösung, NaOCl : wässrige Lösung mit 6 % aktivem Chlor;
- Natriumhydrogensulfitlösung, NaHSO_3 : $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ bzw. 39 %ig;
- Natronlauge, NaOH : $2 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, $9 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Palladiumchloridlösung, PdCl_2 : $7 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1} \text{ Pd}^{2+}$ in salzsaurer Lösung ($0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$);
- Salpetersäure, HNO_3 : $24 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Salzsäure, HCl : $0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, $10 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Tetrachlorkohlenstoff.

7.2 Geräte

- Schwebstofffilter, z. B. HEPA H12;
- Probeentnahmesystem mit Probeentnahmeleitungen, Halter für Schwebstofffilter, Behälter für Absorptionsmittel, Luftfördergerät, Luftdurchsatzmessgerät (z. B. Gasuhr);
- übliche Ausstattung eines radiochemischen Labors;
- Polycarbonatfilter mit Porendurchmesser 0,2 µm;
- Gammaskopie-Messplatz.

Literatur

- (1) Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 1503.1 Messung und Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe; Messung und Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft bei bestimmungsmäßigem Betrieb. Köln: Carl Heymanns Verlag. 2002-06
- (2) Norm DIN 25423 Teil 3 Probenahme bei der Radioaktivitätsüberwachung der Luft: Probenahmeverfahren. 1987-03
Hinweis: Diese Norm wird voraussichtlich im Jahre 2009 durch die Norm DIN ISO 2889 ersetzt.
- (3) Norm DIN EN 1822 Teil 1 Schwebstofffilter (HEPA und ULPA); Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung. 1998-07
- (4) Gesewsky, P.: Die Eignung von Membranfiltern zur Aerosolüberwachung in kerntechnischen Anlagen; Gegenüberstellung zu Glasfaserfiltern. Bericht des Institutes für Strahlenhygiene, 1985, ABE-139
- (5) Wilhelm, J. G.: Fortschritte bei der Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung in Kernkraftwerken und Wiederaufbereitungsanlagen. Jahreskolloquium Projekt Nukleare Sicherheit, 1978, Karlsruhe
- (6) Riedel, H., von Gadow, A., Gesewsky, P.: Untersuchungen über das Auftreten von Radiojod in Luft, Niederschlag, Gras, Kuh- und Ziegenmilch nach dem chinesischen Atombombenversuch vom 26.09.1977. Bericht des Instituts für Strahlenhygiene, 1977, STH-Bericht 3/77
- (7) Haubelt, R., Burkhardt, J.: Untersuchungen zum Expositionspfad "Luft-Gras-Kuh-Milch" für Jod-131 in der Abluft des Kernkraftwerkes Würgassen während der Weidezeit 1980. Bericht des Instituts für Strahlenhygiene, 1983, ISH-Bericht 28/1983
- (8) Heckel, A.: Entwicklung eines radiochemischen Verfahrens zur Abtrennung von Iod-129 aus Absorbermaterialien. Bericht des Fachbereiches Strahlenschutz des BfS, 1993, ST2-26/1993
- (9) Vogl, K., Heckel, A.: Messen der Aktivitätskonzentration von Iod-129 in der Fortluft der Asse. Bericht des Fachbereiches Strahlenschutz des BfS, 1993, ST2-24/1993
- (10) Vogl, K.: Meßmethoden zur Bestimmung der Aktivität von Iod-129. Bericht des Fachbereiches Strahlenschutz des BfS, 1993, ST2-25/1993