

**Verfahren zur Bestimmung der
mittleren Aktivitätskonzentration
von aerosolpartikelgetragendem Eisen-55
in der Fortluft kerntechnischer Anlagen**

J-Fe-55-ALUFT-01

Bearbeiter:

K. Vogl

Leitstelle für Fortluft aus kerntechnischen Anlagen

Verfahren zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration von aerosolpartikelgetragendem Eisen-55 in der Fortluft kerntechnischer Anlagen

1 Anwendbarkeit

Das nachfolgend beschriebene Verfahren eignet sich zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration des aerosolpartikelgetragenen Radionuklids Eisen-55 (Fe-55) in der Fortluft von kerntechnischen Anlagen. Eventuell ebenfalls in der Fortluft vorhandenes Eisen-59 (Fe-59) wird durch das beschriebene Separationsverfahren mit abgetrennt und kann die Messergebnisse verfälschen. Die Anwesenheit von Fe-59 und anderen die Messung störenden Radionukliden ist durch gammaspektrometrische Messung zu überprüfen und das Ergebnis der Beta-messung gegebenenfalls zu korrigieren.

2 Probeentnahme

Aus der Fortluft von kerntechnischen Anlagen wird mittels eines Probeentnahmesystems ein repräsentativer Teilluftstrom entnommen. Das aerosolpartikelgetragene Radionuklid Fe-55 wird kontinuierlich auf einem Schwebstofffilter mit einem Abscheidegrad über 0,995 (z. B. Typ H12 nach DIN EN 1822 Teil 1) abgeschieden (1, 2). Als Schwebstofffilter werden Faserfilter, z. B. Glasfaserfilter, und Membranfilter mit einer Porengröße von 4 µm bis 8 µm eingesetzt (2, 3). Besonders geeignet sind Teflonmembranfilter mit Nylonstützgewebe wegen ihrer großen mechanischen Festigkeit. Cellulosemembranfilter können bei vorsichtiger Handhabung ebenfalls verwendet werden.

Bezüglich der Auslegung der Halterung des Schwebstofffilters und des Probeentnahmesystems wird auf das Verfahren J-γ-SPEKT-ALUFT-03 dieser Messanleitungen und auf die Literatur (4) verwiesen.

Bei Messungen gemäß der KTA-Regel 1503.1 werden die Schwebstofffilter wöchentlich gewechselt und für die Messung der Aktivitätskonzentration zu Quartalsproben zusammengefasst (5).

3 Analyse

3.1 Prinzip des Verfahrens

Nach Zugabe einer Eisenträgerlösung wird das Fe-55 aus den Glasfaserfiltern mit Salzsäure ausgelaugt. Cellulosemembranfilter werden in Königswasser gelöst. Teflonmembranfilter werden verascht und die Aschen in Königswasser gelöst.

Die Lösungen werden eingedampft und der Rückstand mit Salzsäure aufgenommen. Anschließend wird das Eisen mit Methylisobutylketon (MIBK) extrahiert.

Aus der organischen Phase wird das Eisen in Wasser rückextrahiert, die Lösung eingedampft und der Rückstand mit Salzsäure gelöst. Es folgen als Reinigungsschritte die Adsorption des Eisenchlorokomplexes an einem Anionenaustauscher, die Elution des Eisens mit Wasser und eine Eisenhydroxidfällung. Das Schema des radiochemischen Verfahrens ist in Abbildung 1 dargestellt (6).

Die chemische Ausbeute des Verfahrens wird gravimetrisch ermittelt. Die Aktivität des Fe-55 im Messpräparat wird mittels Flüssigkeitsszintillationsspektrometrie bestimmt.

Zugabe von 1 ml Eisenträger (20 mg Fe) zur Probe; Auslaugen der Glasfilter in 100 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) bzw. Auflösen der Cellulosemembranfilter in 100 ml Königswasser bzw. Veraschen und Auflösen der Teflonmembranfilter in 100 ml Königswasser; Eindampfen bzw. Abrauchen der Lösung.
Aufnehmen des Rückstandes mit 10 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$); Zugabe von 1 ml Rückhalteträgerlösung; Extraktion des Eisens mit 50 ml Methylisobutylketon.
Schütteln mit 100 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$); Wässrige Phase verwerfen; Schütteln mit 50 ml destilliertem Wasser; Organische Phase verwerfen.
Wässrige Lösung zur Trockne eindampfen; Rückstand mit 20 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) lösen.
Lösung über Anionenaustauscher geben (1 Tropfen pro Sekunde); 50 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) über Anionenaustauscher geben; Eisen mit 100 ml Wasser eluieren (1 Tropfen pro Sekunde).
Eluat bis nahezu zur Trockne eindampfen; Mit 200 ml destilliertem Wasser verdünnen; Unter Rühren erhitzen; Fällen des Eisens durch tropfenweise Zugabe von 1 ml Hexamethylentetraminlösung ($1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$).
Niederschlag mit heißem, destilliertem Wasser waschen; Zentrifugieren; Niederschlag mit einigen Tropfen Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) lösen; Mit einigen ml destilliertem Wasser in Polyethylenzählfläschchen überführen.
Fällen des Eisens durch tropfenweise Zugabe von Ammoniaklösung ($13 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$); Zentrifugieren; Niederschlag zweimal mit heißem, destilliertem Wasser waschen; Zentrifugieren.
Bestimmung der chemischen Ausbeute mittels Atomabsorptionsspektrometrie bzw. Röntgenfluoreszenzanalyse bzw. Gravimetrie.

Abb. 1: Schema des radiochemischen Trennverfahrens

3.2 Probenvorbereitung

3.2.1 Die Glasfaserfilter werden in einem 250 ml-Becherglas mit 1 ml Eisenträgerlösung (20 mg Fe; siehe Abschnitt 7.1) versetzt und mit 100 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) unter Erhitzen ausgelaugt. Die Lösung wird nach Absaugen über eine Hahnsche Nutsche (Glasfritte mit Porendurchmesser von $200 \mu\text{m}$) und Filtrieren (Porendurchmesser des Filters $2 \mu\text{m}$ bis $3 \mu\text{m}$) zur Abtrennung von Partikeln in einem 250 ml-Becherglas zur Trockne eingedampft.

3.2.2 Cellulosemembranfilter werden in einem 250 ml-Becherglas mit 1 ml Eisenträgerlösung (20 mg Fe; siehe Abschnitt 7.1) versetzt und in 100 ml Königswasser gelöst. Die verbleibende Lösung wird abgeraucht.

3.2.3 Teflonmembranfilter werden in eine Porzellanschale gegeben und bei $600 \text{ }^\circ\text{C}$ vier Stunden verascht. Der Rückstand wird in ein 250 ml-Becherglas überführt, mit 1 ml Eisenträgerlösung (20 mg Fe; siehe Abschnitt 7.1) versetzt und in 100 ml Königswasser gelöst. Die verbleibende Lösung wird abgeraucht.

Anmerkung:

Soll in der Probe auch die Aktivität von Ni-63 bestimmt werden, muss neben der Eisenträgerlösung auch eine Nickelträgerlösung zugegeben werden (siehe Verfahren J-Ni-63-ALUFT-01, Abschnitt 3.2)

3.3 Radiochemische Trennung

3.3.1 Der Rückstand aus Abschnitt 3.2 wird mit 100 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gelöst und in einen 250 ml-Scheidetrichter überführt. Nach Zugabe von 1 ml Rückhalteträgerlösung (siehe Abschnitt 7.1) wird das Eisen mit 50 ml Methylisobutylketon (MIBK) ca. 20 Sekunden ausgeschüttelt. Nach der Phasentrennung wird die wässrige Phase verworfen oder kann für die Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Ni-63 nach dem Verfahren J-Ni-63-ALUFT-01, Abschnitt 3.3, verwendet werden.

3.3.2 Die organische Phase wird durch Ausschütteln (ca. 20 Sekunden) mit weiteren 100 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gereinigt und die wässrige Phase nach Phasentrennung verworfen.

3.3.3 50 ml destilliertes Wasser werden in den Scheidetrichter gegeben und das Eisen in die wässrige Phase ausgeschüttelt (ca. 30 Sekunden). Die wässrige Phase wird in ein 400 ml-Becherglas abgelassen. Die organische Phase wird verworfen bzw. kann nach Destillation wieder verwendet werden.

3.3.4 Die wässrige Lösung im 400 ml-Becherglas wird zur Trockne eingedampft und der Rückstand mit 20 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) aufgenommen. Die Lösung wird mit einer Durchflussgeschwindigkeit von ca. einem Tropfen pro Sekunde über eine konditionierte Anionenaustauschersäule (siehe Abschnitte 7.1 und 7.3) gegeben.

3.3.5 Anschließend wird die Austauschersäule mit 50 ml Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) bei einer Durchflussgeschwindigkeit von ca. einem Tropfen pro Sekunde gewaschen und die Waschlösung verworfen.

3.3.6 Das Eisen wird mit 100 ml destilliertem Wasser bei einer Durchflussgeschwindigkeit von ca. einem Tropfen pro Sekunde in ein 250 ml-Becherglas eluiert.

3.3.7 Das Eluat wird nahezu bis zur Trockne eingedampft und der Rückstand anschließend mit destilliertem Wasser auf 200 ml verdünnt. Nach dem Erhitzen

der Lösung unter Rühren bis zum Sieden wird das Eisen als Eisenhydroxid durch tropfenweise Zugabe von 1 ml Hexamethylentetraminlösung ($1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gefällt.

3.3.8 Der Niederschlag wird mit heißem Wasser gewaschen, in ein Zentrifugenglas (100 ml), das vorgewärmt wurde, oder in eines aus Kunststoff (100 ml) überführt. Der Überstand wird nach dem Zentrifugieren verworfen.

3.3.9 Der verbleibende Niederschlag wird mit einigen Tropfen Salzsäure ($7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gelöst und mit wenigen ml an destilliertem Wasser in ein Zählfläschchen aus Polyethylen (Volumen 20 ml) überführt.

3.3.10 Durch tropfenweise Zugabe einer Ammoniaklösung ($13 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) wird das Eisen quantitativ gefällt, zentrifugiert und der Überstand verworfen. Der Niederschlag wird noch zweimal mit jeweils 10 ml heißem destilliertem Wasser gewaschen, zentrifugiert und der Überstand jeweils verworfen.

3.3.11 Zur Bestimmung der chemischen Ausbeute wird der Eisenhydroxid-Niederschlag im Zählfläschchen zwei Stunden bei $100 \text{ }^\circ\text{C}$ getrocknet und nach dem Abkühlen die Masse des Eisenhydroxides ermittelt. Erfahrungsgemäß ist die chemische Ausbeute gut reproduzierbar und weist einen Wert von ca. 0,9 auf. Alternativ kann die chemische Ausbeute mittels Atomabsorptionsspektrometrie oder Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt werden.

4 Messung der Aktivität

4.1 Messverfahren

Die Aktivität von Fe-55 im Messpräparat wird durch die Messung der niederenergetischen Röntgenstrahlung des Tochternuklides Mn-55 mit einer Energie von 5,9 keV (K_α) und 6,5 keV (K_β) und der Auger-Elektronen mit einem Flüssigkeitsszintillationsspektrometer bestimmt. Es kann dabei derselbe Bereich im Spektrum wie für die Messung von H-3 mit einer unteren Energieschwelle von ca. 1 keV und einer oberen Energieschwelle von ca. 13 keV verwendet werden. Besser geeignet ist ein Bereich von ca. 2 keV bis 10 keV. Die optimale Einstellung ist jedoch geräteabhängig.

Zu dem getrockneten Eisenhydroxidniederschlag im Polyethylen-Zählfläschchen aus Abschnitt 3.3.10 bzw. 3.3.11 wird 1 ml Flusssäure ($8 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gegeben (**Vorsicht: Handschuhe!**) und solange bei fest verschlossenem Zählfläschchen geschüttelt, bis der Niederschlag vollständig gelöst ist. Durch Zugabe der Flusssäure entsteht eine farblose Lösung, so dass Farbquench bei der Messung von Fe-55 weitgehend vermieden wird. Danach werden 19 ml Szintillatorlösung hinzugegeben.

Das Messpräparat wird nach fünfstündigem Abklingen der Chemolumineszenz im Kühlen und Dunkeln mit einem Flüssigkeitsszintillationsspektrometer mehrmals 100 Minuten gemessen. Durch diese mehrfache Messung wird die Messunsicherheit verringert und es kann festgestellt werden, ob noch Chemolumineszenz vorliegt. Bei einigen Flüssigkeitsszintillationsspektrometern ist für diesen Zweck ein Lumineszenzmonitor vorhanden. Zur Kontrolle der Messungen und zur Überprüfung und Kalibrierung der Messeinrichtung werden bei jedem Messdurchlauf ein Kalibrierpräparat mit einer Aktivität von einigen hundert Bq, das nach dem oben beschriebenen Verfahren mit einer zertifizierten Fe-55-Lösung bekannter Aktivität hergestellt wurde, und eine frisch hergestellte Nulleffektprobe mitgemessen.

Version Oktober 2008

4.2 Kalibrierung

Das Nachweisvermögen ε lässt sich als Funktion des Quench-Parameters und der in Abschnitt 3.3 bestimmten Eisenmasse darstellen (siehe Abbildung 2). Diese Funktion wird mit Kalibrierpräparaten bestimmt, die nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt wurden und bei einer Fe-55-Aktivität von einigen hundert Bq einen Eisengehalt von 20 mg bis 120 mg aufweisen. Der Wert des Nachweisvermögens ε liegt beispielsweise bei einer Eisenhydroxideinwaage von 20 mg bis 100 mg zwischen 0,232 und 0,227.

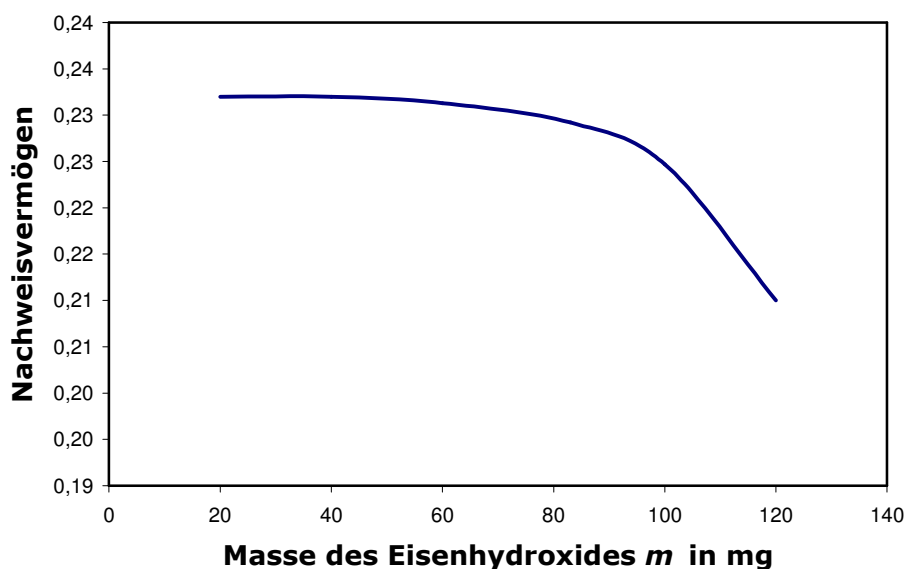


Abb. 2: Abhängigkeit des Nachweisvermögens ε von der Masse m des Eisenhydroxides.

4.3 Störende Einflüsse

Der Quench-Parameter und die Nachweiswahrscheinlichkeit ε weisen bei den Messungen erfahrungsgemäß nahezu konstante Werte auf. Daher werden für die Bestimmung der Aktivität in den Messpräparaten bei ähnlichen Werten des Quench-Parameters von Messpräparat und Kalibrierpräparat das aus der Zählrate und der Aktivität des mitgemessenen Kalibrierpräparates berechnete Nachweisvermögen ε oder der Kalibrierfaktor φ_A verwendet. Bei jeder Messung wird der Quench-Parameter bestimmt, um Abweichungen vom erfahrungsgemäßen Wert feststellen und die Messergebnisse gegebenenfalls korrigieren zu können.

Eine durch die gleiche Röntgenstrahlungsenergie störende höhere Aktivität von Fe-59, das radiochemisch nicht abgetrennt wird, kann man an Hand der höherenergetischen Betastrahlung des Fe-59 im Spektrum des Flüssigkeitsszintillationsspektrometers ersehen. In diesem Fall wird die Fe-59-Aktivität im Messpräparat anschließend gammaspektrometrisch gemessen und deren Einfluss auf die

Messung der Aktivität von Fe-55 korrigiert (7, 8). Meist stört jedoch die mit weniger als 1 % der Fe-55-Aktivität geringe Aktivität von Fe-59 die Messung der Aktivität von Fe-55 nicht.

Mögliche, die Messung der Fe-55-Aktivität aufgrund ihrer Röntgenstrahlung im selben Energiebereich störende, andere Radionuklide, wie z. B. Mn-54, Co-58 und Co-60, werden großenteils radiochemisch abgetrennt. Die Aktivitäten der genannten Radionuklide können zudem durch gammaspektrometrische Messung ermittelt und der Einfluss auf die Aktivitätsmessung des Fe-55 im Flüssigkeitsszintillationsspektrometer nach experimenteller Bestimmung der Korrekturfaktoren korrigiert werden (7, 8).

5 Berechnung der Analyseergebnisse

5.1 Gleichungen zur Berechnung

Die Berechnung der Aktivitätskonzentration c erfolgt nach Gleichung (1):

$$c = \frac{\varphi_A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot q}{\eta \cdot V} \cdot (R_b - R_0)$$

$$f_1 = e^{\lambda \cdot t_A} \tag{1}$$

$$f_2 = \frac{m_L}{m_L - m_E}$$

Die relative Standardmessunsicherheit $s(c) \cdot c^{-1}$ der Aktivitätskonzentration wird nach Gleichung (2) berechnet:

$$\frac{s(c)}{c} = \sqrt{\frac{R_b}{t_m} + \frac{R_0}{t_0} + \left(\frac{s(\varphi_A)}{\varphi_A}\right)^2 + \left(\frac{s(\eta)}{\eta}\right)^2} \tag{2}$$

In den Gleichungen (1) und (2) bedeuten:

- c Aktivitätskonzentration von Fe-55 in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;
- R_b Bruttozählrate in s^{-1} ;
- R_0 Nulleffektzählrate in s^{-1} ;
- t_m Messdauer in s;
- t_0 Messdauer der Nulleffektmessung in s;
- t_s Sammelzeitraum in s;
- t_A Zeitspanne vom Ende der Probeentnahme bis zum Beginn der Messung in s;
- φ_A Kalibrierfaktor in $\text{Bq} \cdot \text{s}$;
- η chemische Ausbeute;
- λ Zerfallskonstante von Fe-55 in s^{-1} ;
- f_1 Korrektionsfaktor für die Abnahme der Aktivität in der Zeit t_A ;
- f_2 Korrektionsfaktor für die zur Bestimmung der chemischen Ausbeute entnommene Lösung;
- f_3 Korrektionsfaktor für den Beitrag von störenden Radionukliden, wie z. B. Fe-59, Mn-54, Co-58 und Co-60, zur Nettozählrate; hat im Allgemeinen den Wert 1;
- m_L Masse der Lösung nach Abschnitt 3.3.10 in g;
- m_E für die Bestimmung der chemischen Ausbeute entnommene Masse nach Abschnitt 3.3.11 in g;
- $s(c)$ Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;
- $s(\varphi)$ Standardmessunsicherheit des Kalibrierfaktors in $\text{Bq} \cdot \text{s}$;
- $s(\eta)$ Standardmessunsicherheit der chemischen Ausbeute;
- q_R Gesamtverlustfaktor (siehe Verfahren J- γ -SPEKT-ALUFT-03);
- V Luftdurchsatz in m^3 .

5.2 Rechenbeispiel

Vier Schwebstofffilterproben wurden in einem Quartal gesammelt und radiochemisch aufgearbeitet. Die Aktivität von Fe-55 wurde 110 Tage nach Ende der Probenentnahme gemessen. Nach der Messung liegen für die Berechnung der Aktivitätskonzentration folgende Daten vor:

$$\begin{array}{ll}
 R_b = 20,1 \text{ s}^{-1}; & \lambda = 7,98 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}; \\
 R_0 = 0,17 \text{ s}^{-1}; & \eta = 0,89; \\
 t_m = 6000 \text{ s}; & V = 2000 \text{ m}^3; \\
 t_0 = 6000 \text{ s}; & q = 1,2; \\
 t_A = 9,5 \cdot 10^6 \text{ s}; & f_2 = 1; \\
 \varphi_A = 4,76 \text{ Bq} \cdot \text{s}; & f_3 = 1.
 \end{array}$$

Der Wert der Aktivitätskonzentration c beträgt:

$$f_1 = e^{7,98 \cdot 10^{-9} \cdot 9,5 \cdot 10^6} = 1,08$$

$$c = \frac{4,76 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2}{0,89 \cdot 2000} \cdot (20,1 - 0,17) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 0,0691 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 69,1 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Bei einer relativen Standardmessunsicherheit des Kalibrierfaktors von 5 % und einer relativen Standardmessunsicherheit der chemischen Ausbeute von 10 % beträgt der Wert der relativen Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration $s(c) \cdot c^{-1}$ gemäß Gleichung (2):

$$\frac{s(c)}{c} = \sqrt{\frac{\frac{20,1}{6000} + \frac{0,17}{6000}}{(20,1 - 0,17)^2} + 0,05^2 + 0,1^2} = 0,1$$

Damit ergibt sich die Aktivitätskonzentration zu:

$$c = (69,1 \pm 6,9) \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

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:

$$g = \frac{\varphi_A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot q}{\eta \cdot V} \cdot \left[(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \cdot \sqrt{R_0 \cdot \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_m} \right)} + \frac{(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})^2}{4} \cdot \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_m} \right) \right] \quad (3)$$

Dabei bedeuten:

g Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;
 $k_{1-\alpha}, k_{1-\beta}$ Quantile der Normalverteilung.

6.2 Rechenbeispiel

Der Wert der Nachweisgrenze beträgt bei dem Beispiel aus Abschnitt 5.2 mit den folgenden Werten für die Quantile $k_{1-\alpha} = 3$ und $k_{1-\beta} = 1,645$:

$$\begin{aligned} g &= \frac{4,76 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2}{0,89 \cdot 2000} \cdot \left[4,645 \cdot \sqrt{0,17 \cdot \left(\frac{1}{6000} + \frac{1}{6000} \right)} + \frac{21,6}{4} \cdot \left(\frac{1}{6000} + \frac{1}{6000} \right) \right] \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} = \\ &= 0,0035 \cdot [4,645 \cdot 0,0075 + 5,4 \cdot 0,0003] \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} = 0,13 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned}$$

Die in der Praxis erreichbare Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration beträgt bei einem Sammelzeitraum von einem Vierteljahr und einer Messdauer von 6000 Sekunden etwa $100 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$. Durch höheren Volumenstrom der Luft und dadurch kürzeren Sammelzeitraum kann die Nachweisgrenze bis auf $10 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$ gesenkt werden.

7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

7.1 Chemikalien

Alle verwendeten Chemikalien sollten analysenrein sein.

- Anionenaustauscher: DOWEX 1 x 8, Chlorid-Form, 100-200 mesh;
- Eisenträgerlösung, FeCl_3 : 20 mg Fe^{3+} pro ml wässriger Lösung;
- Flusssäure, HF: $8 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Hexamethylentetraminlösung: $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Methylisobutylketon (MIBK);
- Rückhalteträgerlösung: je 10 mg Cs^+ , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Co^{3+} , Ce^{3+} und La^{3+} pro ml salzsaurer Lösung ($1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$), hergestellt aus Nitraten oder Chloriden;
- Salpetersäure, HNO_3 : $24 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Salzsäure, HCl: $7 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$;
- Szintillatorlösung.

7.2 Geräte

- Schwebstofffilter mit Abscheidegrad besser als 0,995;
- Probeentnahmesystem mit Probeentnahmeleitungen, Halter für Schwebstofffilter, Luftfördergerät, Luftdurchsatzmessgerät, z. B. Gasuhr;
- Ausstattung eines radiochemischen Labors;
- Austauschersäulen, Durchmesser 1,5 cm, Höhe 20 cm;
- Flüssigkeitsszintillationsspektrometer;
- Zählfläschchen aus Polyethylen, Volumen 20 ml;
- Gammaskopie-Messeinrichtung.

Literatur

- (1) Norm DIN EN 1822 Teil 1 Schwebstofffilter (HEPA und ULPA); Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung. 1998-07
- (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) Gesewsky, P.: Die Eignung von Membranfiltern zur Aerosolüberwachung in kerntechnischen Anlagen in Gegenüberstellung zu Glasfaserfiltern. Bericht des Institutes für Strahlenhygiene, 1985, ABE-139
- (4) Vogl, K.: Rechnerische Abschätzung der Aerosolpartikelverluste in Probeentnahmesystemen bei kerntechnischen Anlagen: Physikalische Modelle, Vorgehensweise, Ergebnisse und weitere Ausblicke. Fachbereich Strahlenschutz des Bundesamtes für Strahlenschutz, 1992, ST 2-32/1992
- (5) Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 1503.1 Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffe gebundener radioaktiver Stoffe; Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft bei bestimmungsmäßigem Betrieb. Köln: Carl Heymanns Verlag. 2002-06
- (6) Gesewsky, P., Vogl, K., Winkelmann, I.: Untersuchungen über die Emission von Eisen-55 und Nickel-63 mit der Abluft aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1979-1981. Bericht des Instituts für Strahlenhygiene, 1982, ISH 12/82
- (7) Oki, Y., Numajiri, M., Suzuki, T., Miura, T., Kondo, K.: Evaluation and Measurement of Fe-55 Radioactivity in Accelerator Hardware Activated at High Energy Accelerator Facilities. Appl. Radiat. Iso., 1992, Vol. 43, Nr. 11, S. 1355 -1362
- (8) Martin, J. E., Liaw, M. D. K.: Correction of Fe-55 Activity Measurements due to Interferences of other Low Energy Photon Emitters. Appl. Radiat. Iso., 1994, Vol. 45, Nr. 1, S. 121 - 123