



## Überwachung der Plutoniumaktivität in Wasser, Sediment und Fisch

Bearbeiter: R. Lauer, vormals Freie Hansestadt Hamburg, Institut für Hygiene und Umwelt  
S. Frenzel, Radiochem-Consult Stefan Frenzel, Neu-Isenburg

### Inhaltsverzeichnis

1	Zweck der Überwachungsmaßnahme.....	1
2	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze.....	1
3	Messverfahren.....	2
	3.1 Probenentnahme.....	2
	3.1.1 Wasser.....	2
	3.1.2 Fisch.....	2
	3.1.3 Sediment.....	2
	3.2 Probenaufarbeitung.....	2
	3.3 Messung inkl. Kalibrierung, Wartung und Auswertung.....	4
	3.4 Messunsicherheit.....	5
	3.5 Nachweis- und Erkennungsgrenze.....	5
4	Bewertung des Verfahrens.....	7
5	Dokumentation.....	7
6	Besonderheiten, Bemerkungen.....	7
7	Literatur.....	7

### 1 Zweck der Überwachungsmaßnahme

Insbesondere aufgrund der oberirdischen Kernwaffentests vor 1980 kommt das Radionuklid Plutonium mit seinen Isotopen Pu-239 und Pu-240 weltweit im Fallout vor. Daneben ist Plutonium durch Abgaben aus kerntechnischen Anlagen in deren Umgebung sowie durch den Fallout aus dem Unfall in Tschernobyl 1986 gemessen worden.

Die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [1] schreibt im Teil B für die Immissionsüberwachung von Brennelementfabriken Maßnahmen zur Messung alphanuklidspezifischer Aktivitätskonzentrationen für einzelne Medien, wie Pflanzen oder Klärschlamm vor. Überwachungsmaßnahmen zur Bestimmung des Plutoniumgehaltes in Wasser, Sediment und Fisch werden nicht vorgeschrieben, sind jedoch, insbesondere nach störfallbedingten Emissionen, sinnvoll und als Beweissicherungsmaßnahmen zu betrachten.

### 2 Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze

Messgröße: Plutoniumaktivitätskonzentration

Maßeinheit: Bq/ L (für Wasserproben)  
Bq/ kg Frischsubstanz (für Fischproben)  
Bq/ kg Trockensubstanz  
Bq/ m<sup>2</sup> (für Sedimentproben)

Die zu fordernde Nachweisgrenze wird durch die falloutbedingte Plutonium-Konzentration (etwa  $2 \cdot 10^{-4}$  Bq/ Probe, entsprechend z. B.  $4 \cdot 10^{-5}$  Bq/ kg Frischsubstanz) nach oben begrenzt.



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

**Blatt: 3.1.19**  
Seite: 2 von 8  
Stand: März 2017

### **3 Messverfahren**

#### **3.1 Probenentnahme**

##### **3.1.1 Wasser**

- a) Oberflächenwasser in der Regel aus Ufernähe, Schöpfprobe (Stichprobe) von 5 L Wasser mit Schwebstoffen
- b) Mischprobe aus 3 bis 4 Einzelproben über einen Flussquerschnitt (50 L)
- c) Mischprobe aus ca. 10 Einzelproben über einen bestimmten Zeitraum in Flussmitte (50 L)
- d) Mischprobe aus ca. 10 Einzelproben über bestimmte Tidenphasen von einer festen Position aus (50 L)

Entsprechend den Anforderungen können zeit- und mengenproportionale Mischproben genommen werden (z. B. Monatsmischproben).

Die Probenentnahme und Aufbewahrung erfolgt in Kunststoffgefäßen (Polyäthylen). Nach der Probenentnahme wird mit HCl oder HNO<sub>3</sub> auf pH 1 bis pH 1,5 angesäuert.

##### **3.1.2 Fisch**

Fische werden nach dem Fang in artspezifische Proben aufgeteilt. Da nur das Fleisch zur Messung auf Plutonium aufgearbeitet wird, sollte man beim Sortieren der Proben darauf achten, dass Fische unter einer Mindestgröße von etwa 10 cm bis 15 cm nur mit verhältnismäßig großem Mehraufwand zu filetieren sind. Insgesamt werden etwa 5 kg bis 10 kg Fisch benötigt. Diese Menge gewährleistet einerseits eine ausreichende Aschemenge für die chemische Analyse und andererseits eine aussagekräftige Mischprobe aus einer größeren Anzahl Fische.

Die Fischproben werden in Kunststoffbeuteln gesammelt und in Kühlboxen bei 0 °C zum Labor transportiert. Eine Lagerung kann in Tiefkühlzellen bei -40 °C vorgenommen werden.

##### **3.1.3 Sediment**

Eine Probenentnahme von Sediment erfolgt mit entsprechenden Geräten. Dabei werden in jedem Fall ausreichende Mengen an Sediment für eine nachfolgende Analyse gewonnen (mindestens 1 kg Frischsubstanz).

- a) Bodengreifer: Man erhält auch bei tiefem Wasser (5 m bis 15 m) Sedimentproben (Quader) mit definiertem Volumen. Je nach Gerät können solche Proben in einzelne Schichten zerlegt werden.
- b) Stechrohr: Man erhält Sedimentkerne mit 5 cm bis 8 cm Durchmesser und maximal 1 m bis 1,5 m Länge.
- c) Schuber: Man erhält einen flachen Quader von 25 cm x 25 cm x 5 cm Kantenlänge. Eine Probenentnahme ist nur bei Sedimenten möglich, die dicht (maximal 50 cm) unter der Wasseroberfläche liegen.

Die Sedimente werden in Kunststoffbeuteln aufbewahrt.

#### **3.2 Probenaufarbeitung**

- (1) 50 L Wasser werden mit einem halbtechnischen Rotationsverdampfer eingeengt (3 L/h bis 4 L/h). Ein Restvolumen von etwa 2 L wird in einem entsprechenden Becherglas zur Trockene eingedampft. Der



trockene Wasserrückstand bildet das Ausgangsmaterial für die chemische Abtrennung des Plutoniums (weiter unter (4) a)).

- (2) Fisch wird in Edelstahlschalen (20 cm x 40 cm x 5 cm), die mit Pergamentpapier (Transparentpapier 90 g/ m<sup>2</sup>) ausgelegt sind, bei etwa 120 °C ca. 10 Minuten angegart und anschließend in noch warmen Zustand filetiert. Blindanalysen mit Pergamentpapier ergaben Plutoniumgehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

Das auf diese Weise vorbereitete Fischfleisch wird, ebenso wie vorher die Gesamtfische, in Edelstahlschalen auf Pergamentpapier in einer Höhe von einigen Zentimetern aufgeschichtet und anschließend verascht.

Die Veraschung erfolgt mit stufenweise ansteigender Temperatur, bis eine Endtemperatur von 550 °C erreicht ist. Soll aus einem Aliquot der gleichen Asche auch Cs-137 bestimmt werden, so darf eine Endtemperatur von 430 °C nicht überschritten werden. Bei dieser Temperatur wird über einen Zeitraum von mindestens 12 h unter Zufuhr von Luftsauerstoff nachverascht, so dass Kohlenstoffreste in der Asche weitgehend verbrennen.

Die Fischesche bildet das Ausgangsmaterial für die chemische Abtrennung des Plutoniums (weiter unter (4) a)).

- (3) Sedimentproben werden getrocknet und verascht. Die Aschen werden wie unter (4) a) beschrieben weiterverarbeitet. Bei allen Trocknungs- und Veraschungsschritten werden die Relationen Feuchtgewicht zu Trockengewicht und Trockengewicht zu Aschegewicht bestimmt.

- (4) Chemische Abtrennung des Plutoniums aus Wasserrückstand, Fischesche und veraschtem Sediment

- a) Wasserrückstand 50 g bis 100 g evtl. gesamter Rückstand (50 L)  
Fischesche 50 g bis 100 g  
Sedimentasche 10 g bis 50 g

- b) Der Wasserrückstand oder die eingewogenen Aschen werden mit Pu-242- oder Pu-236-Tracerlösung versetzt (etwa 0,03 Bq).  
Beide Isotope sind zur Bestimmung der chemischen Ausbeute geeignet. Pu-242 bietet jedoch den Vorteil einer größeren herstellungsbedingten Isotopenreinheit. Seine Alphalinie liegt unterhalb der Linien der zu bestimmenden Plutonium-Isotope.

- c) Plutonium wird mit 8 M-HNO<sub>3</sub>/ 0,09 M-HF durch einstündige Behandlung in der Siedehitze in Lösung gebracht und durch Zugabe einer Spatelspitze Natriumnitrit in die Oxidationsstufe + IV überführt.

- d) Aus der wässrigen, stark sauren Phase wird Plutonium mit 0,2 M-TOPO (Tri-n-octylphosphinoxid) in Cyclohexan extrahiert.

Americium wird unter den angegebenen experimentellen Bedingungen nicht merklich extrahiert. Lösliches Uran wird mit dem Plutonium extrahiert.

- e) Nach der Rückextraktion des Plutoniums mit 0,5 M-Ascorbinsäure/1 M-HCl erfolgt eine Reinigungsfällung des Plutoniums mit Lanthanfluorid. Uran bleibt bei diesem Schritt als UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>-Ion in Lösung und wird verworfen.

- f) Lanthanfluorid und mitgefälltes Plutonium werden mit einer Mischung gleicher Teile einer gesättigten Borsäurelösung und konzentrierter Salpetersäure in der Wärme gelöst.

- g) Der letzte Reinigungsschritt erfolgt nach Reduktion mit NaNO<sub>2</sub> durch Abscheidung eines anionischen Plutoniumkomplexes an Dowex 1x2, 50 mesh bis 100 mesh, einem stark basischen Anionenaustauscher, der in der Nitratform vorliegen muss.



- h) Sobald die Probenlösung nahezu durchgelaufen ist (die Säule darf nicht trocken laufen), wird nacheinander mit 100 mL 8 M Salpetersäure und 150 mL 9 M Salzsäure gewaschen.
- i) Plutonium wird nahezu verlustfrei mit 0,36 M- HCl/ 0,01 N-HF-Lösung zurückgewonnen und in einem Kristallisierschälchen aufgefangen, mit 1 mL 12 M Salzsäure versetzt und langsam zur Trockne eingedampft (Sandbad).  
Da Plutonium an dieser Stelle trägerfrei vorliegen muss, sollten keine Spuren von Salzen oder Verunreinigungen in der Kristallisierschale sichtbar sein.
- j) Für die Elektrolyse findet ein Gefäß aus Kunststoff Verwendung, das auf einer Seite durch eine Edelstahlscheibe (0,3 mm, Ø 25 mm), der Kathode, verschlossen ist.  
Im Kristallisierschälchen wird das Plutonium mit 0,4 mL 4 M-HCl gelöst und durch anschließendes Spülen mit je 1 mL 4 %iger Ammoniumoxalatlösung (dreimal) und 0,6 mL destilliertem Wasser (einmal) quantitativ in das Elektrolysergefäß überführt.  
Die Anode, eine Platindrahtspirale, wird bis 1 cm über der Kathode in die Plutoniumlösung getaucht. Man deckt das Elektrolysergefäß ab und scheidet während 120 min das Plutonium auf der Kathode trägerfrei mit einem konstanten Gleichstrom von 300 mA ab.
- k) Zur Beendigung der Elektrolyse wird 1 mL 13 M Ammoniaklösung zugesetzt und die Elektrolyse 1 Minute lang weitergeführt. Die Lösung wird danach ausgegossen und verworfen. Der Strom wird ausgeschaltet und die Zelle mit schwach ammoniakalischem Wasser (pH 8) ausgespült.  
Das Edelstahlplättchen wird nach der Elektrolyse mit Wasser und Alkohol gespült und bei 250 °C bis 300 °C getrocknet und kurz gegläht.

### 3.3 Messung inkl. Kalibrierung, Wartung und Auswertung

Die Messung des Plutoniumpräparates geschieht  $\alpha$ -spektrometrisch. Man verwendet einen Oberflächensperrschicht- oder PIPS-Detektor (Passivated Implanted Planar Silicon) mit Vor- und Hauptverstärker und Vielkanalimpulshöhenanalysator.

Das Präparat und der Detektor befinden sich während der Messung im Vakuum (0,1 hPa bis 10 hPa) und möglichst dicht beieinander (1 mm bis 2 mm Abstand). Die Messzeit sollte mindestens 2000 min betragen.

Mit einem Detektor von 300 mm<sup>2</sup> aktiver Oberfläche und dem angegebenen Präparateabstand von 1 mm bis 2 mm werden Nachweiswahrscheinlichkeiten von etwa 25 % erreicht.

Die Elektronik des Messplatzes muss eine sehr gute Langzeitstabilität aufweisen. Die Verstärkung wird so eingestellt, dass ein Energiebereich von 4,0 MeV bis 6,0 MeV vom Vielkanalanalysator erfasst wird.

Die Kalibrierung der Messanordnung kann entweder mit einem Kalibriergenerator oder mit Kalibrierstrahlern (Einzelnuklid- oder Mischnuklidpräparate) durchgeführt werden, die messtechnisch auf ein nationales Primärnormal rückführbar sind.

Der häufige und vor allen Dingen langzeitige Einsatz dieser Kalibrierstrahler kann zu einer Kontamination des Detektors mit Rückstoßprodukten führen. Kontaminationsgefahr besteht darüber hinaus auch bei Präparaten mit Ra-224 (flüchtige Folgeprodukte) und bei einer Nachmessung alter Proben mit Pu-236-Tracer.

Für die Auswertung der  $\alpha$ -Spektren werden eine Zuordnung der Peaks zu den entsprechenden Energien durchgeführt (Identifizierung), die Peakfläche (Bruttoimpulszahl) berechnet sowie der Nulleffekt und ein evtl. vorhandener radiochemischer Blindwert an der Stelle des Peaks subtrahiert.

Letzterer muss regelmäßig mit Hilfe von Blindanalysen ermittelt werden.

Die Bestimmung der gesuchten Aktivität  $A$  in einer Asche reduziert sich bei Verwendung einer Tracerlösung mit bekannter Aktivität nach:

$$A = A_{Tr} \frac{I - I_0 - I_{Bl}}{I_{Tr} - I_{0,Tr} - I_{Bl,Tr}} \quad (1)$$



mit

$A$  = Aktivität der Probe in Bq

$A_{Tr}$  = Aktivität des zugegebenen Tracers in Bq

$I$  = Bruttoimpulszahl des zu bestimmenden Isotops

$I_0$  = Detektornulleffekt bei der Energie des zu bestimmenden Isotops

$I_{Bl}$  = Blindwertimpulszahl bei der Energie des zu bestimmenden Isotops

$I_{Tr}$  = Bruttoimpulszahl des Tracers

$I_{0,Tr}$  = Detektornulleffekt bei der Energie des Tracerpeaks

$I_{Bl,Tr}$  = Blindwertimpulszahl bei der Energie des Tracerpeaks

Zur Berechnung der spezifischen Aktivität  $a$  sind die Masse des verarbeiteten Probenaliquotes  $m$  und das Verhältnis Asche- zu Frischgewicht  $q_F$  zu berücksichtigen. Somit ergibt sich aus Gleichung (1):

$$a = I_N * w = (I - I_0 - I_{Bl}) * \frac{c_{Tr} v_{Tr} q_F}{(I_{Tr} - I_{0,Tr} - I_{Bl,Tr}) m} \quad (2)$$

mit

$I_N$  = Nettoimpulszahl des zu bestimmenden Isotops

$w$  = erweiterter verfahrensbezogener Kalibrierfaktor in Bq L<sup>-1</sup>, Bq kg<sup>-1</sup> oder Bq m<sup>-2</sup>

$c_{Tr}$  = Aktivitätskonzentration der Tracerlösung in Bq mL<sup>-1</sup>

$v_{Tr}$  = Zugewetztes Volumen der Tracerlösung in mL

$q_F$  = Veraschungsfaktor

$m$  = Einwaage Probenaliquot in L oder kg

### 3.4 Messunsicherheit

Die Standardmessunsicherheit der Aktivitätskonzentration des interessierenden Plutonium-Isotopes ergibt sich aus Gleichung (2) wie folgt:

$$u(a) = \sqrt{u^2(I_N)w^2 + (I_N)^2 u^2(w)} = \sqrt{u^2(I_N)w^2 + a^2 u_{rel}^2(w)} \quad (3)$$

mit

$$u^2(I_N) = I + I_0 + I_{Bl} \quad (4)$$

und den relativen Standardmessunsicherheiten

$$u_{rel}^2(w) = u_{rel}^2(c_{Tr}) + u_{rel}^2(v_{Tr}) + u_{rel}^2(q_F) + u_{rel}^2(I_{N,Tr}) + u_{rel}^2(m) \quad (5)$$

Darin gilt für die relative Standardmessunsicherheit der Nettoimpulszahl des Tracerisotopes:

$$u_{rel}^2(I_{N,Tr}) = \frac{(I_{Tr} + I_{0,Tr} + I_{Bl,Tr})}{I_{N,Tr}^2} \quad (6)$$

### 3.5 Nachweis- und Erkennungsgrenze

Die charakteristischen Grenzen für die Bestimmung der Plutoniumaktivitätskonzentration erhält man aus Gleichung (3) gemäß [2]. Damit lautet die Erkennungsgrenze:

$$a^* = k_{1-\alpha} w u(I_N) = k_{1-\alpha} w \sqrt{2(I_0 + I_{Bl})} \quad (7)$$



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

Blatt: 3.1.19  
Seite: 6 von 8  
Stand: März 2017

Für die Nachweisgrenze gilt:

$$a^{\#} = a^* + k_{1-\beta} \sqrt{\left(\frac{a^{\#}}{w} + 2(I_0 + I_{Bl})\right) w^2 + (a^{\#})^2 u_{rel}^2(w)} \quad (8)$$

Hierin bedeuten:

- $k_{1-\alpha}$  Quantil der Standardnormalverteilung für statistische Sicherheit 1. Art  
(empfohlener Wert 3,0 gemäß den Messanleitungen [3])  
 $k_{1-\beta}$  Quantil der Standardnormalverteilung für statistische Sicherheit 2. Art  
(empfohlener Wert 1,645 gemäß den Messanleitungen [3])

Rechenbeispiel für eine veraschte Fischfiletprobe, basierend auf jeweils 2000-minütigen Messungen:

$$I_0 \text{ (Pu-Isotop-Kanalbereich)} = 0,1$$

$$I_{Bl} \text{ (Pu-Isotop-Kanalbereich)} = 0$$

$$c_{Tr} = 0,3 \text{ Bq mL}^{-1}$$

$$v_{Tr} = 0,1 \text{ mL}$$

$$I_{N,Tr} \text{ (Pu-Tracerisotop-Kanalbereich)} = 0,03 * 0,25 * 120000 * 0,8 = 720$$

unter der Annahme, dass die chemische Ausbeute des Plutoniums (Verhältnis  $A_{Tr}/I_{N,Tr}$ ) bei einer angenommenen Detektornachweiswahrscheinlichkeit von 0,25 0,8 beträgt.

$$I_{Tr} \text{ (Pu-Isotop-Kanalbereich)} = 720,1$$

$$I_{0,Tr} \text{ (Pu-Tracerisotop-Kanalbereich)} = 0,1$$

$$I_{Bl,Tr} \text{ (Pu-Tracerisotop-Kanalbereich)} = 0$$

$$m = 0,06 \text{ kg}$$

$$q_F = 1/70 \approx 1,4 \text{ E-02}$$

$$w \approx 9,921 \text{ E-06 Bq kg}^{-1}$$

$$u_{rel}(c_{Tr}) = 0,02$$

$$u_{rel}(I_{Tr}) \approx 3,727 \text{ E-02}$$

$$u_{rel}(w) \approx 4,460 \text{ E-02}$$

Für die restlichen relativen Standardmessunsicherheiten wurden jeweils Rechteckverteilungen angenommen, sodass die Spannweiten der drei Einflussgrößen jeweils mit dem Gewichtungsfaktor  $1/\sqrt{12}$  zu multiplizieren sind.

$$u_{rel}(v_{Tr}) = 0,02/\sqrt{12}$$

$$u_{rel}(q_F) = 0,04/\sqrt{12}$$

$$u_{rel}(m) = 0,02/\sqrt{12}$$

Damit erhält man eine Nachweisgrenze von

$$a^* \approx 1,33 \text{ E-05 Bq kg}^{-1}$$

Die Nachweisgrenze beträgt (nach 8 Iterationen)

$$a^{\#} \approx 5,1 \text{ E-05 Bq kg}^{-1}$$



#### 4 Bewertung des Verfahrens

Das Verfahren der Plutoniumbestimmung ist sehr zeitaufwendig (2 bis 4 Bestimmungen pro Woche mit einer Arbeitskraft und einer entsprechender Anzahl an Messplätzen).

Die Plutoniumanalytik erfordert ein äußerst sorgfältiges und kontinuierliches Arbeiten.

Das Betreiben von Plutoniumanalytik ist nur sinnvoll, wenn kontinuierliche Plutoniummessungen durchgeführt werden, um z. B. den Pegel der durch Fallout hervorgerufenen weltweiten Plutoniumkontamination zu erfassen.

Neben dem statistischen Beitrag zur Messunsicherheit kann ein im Wesentlichen auf die Probenaufarbeitung (Wägung, Veraschung, Pipettieren der Tracerlösung) und Herstellung des 100%-Präparates beruhender Beitrag zur Standardmessunsicherheit von etwa 10 % abgeschätzt werden.

Da die zu messenden Aktivitäten meist in der Nähe der Nachweisgrenze erwartet werden, erreicht oder übersteigt dann der statistische Beitrag die übrigen Beiträge zur Messunsicherheit.

#### 5 Dokumentation der Messergebnisse

Nach Beendigung der Messung wird das Spektrum gespeichert. Ein Ausdruck der Auswertung kann zu einer Akte genommen werden.

Die Messpräparate sollten für etwa ein Jahr für ggf. erforderliche Nachmessungen aufbewahrt werden, da z. B. nach einiger Zeit (1 Jahr bis 2 Jahre) eine Messung von Pu-241 über das mittlerweile gebildete Tochterprodukt Am-241 möglich ist.

#### 6 Besonderheiten, Bemerkungen

Neben den hier verwendeten Oberflächensperrschicht- oder PIPS-Detektoren für  $\alpha$ -spektrometrische Messungen können auch Großflächen-Gitterionisationskammern für die  $\alpha$ -spektrometrischen Messungen eingesetzt werden. Man verwendet letztere jedoch vorteilhafter für großflächige Präparate, z. B. Aerosolfilter, Edelstahlschalen mit Eindampfdruckständen von Wasserproben.

Weiterführende Literatur zu den hier vorgestellten Analysenmethoden sind u. a. in [4] bis [11] zu finden.

#### 7 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, GMBI. Nr. 14-17, 23. März 2006, Seite 254 ff.
- [2] DIN ISO 11929:2011-01, Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung - Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929:2010)
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Umwelt auf radioaktive Stoffe,,  
Kurzlink: [www.bmub.bund.de/P384/](http://www.bmub.bund.de/P384/) (geprüft 12.08.2015)
- [4] H. Hötzl, R. Rosner, R. Winkler: Untersuchungen über den Nachweis von  $\alpha$ -Strahlern in Proben aus dem Abwasser, dem Primärkreislauf und der Abluft von Kernkraftwerken der BRD aus den Jahren 1973 - 1975. GSF-Bericht (1976) 412.
- [5] B. Boppel: Schnelle Trockenveraschung von Lebensmitteln. Z. Anal. Chem. 266 (1973) S. 257-263
- [6] H. Schüttelkopf: Bestimmung von Plutonium in Probenmaterialien der Umgebungsüberwachung. IAEA (1971), SM-148/61, 183 – 197.
- [7] N. A. Talvitie: Radiochemical Determination of Plutonium in Environmental and Biological Samples by Ion Exchange. Anal. Chem. 43 (1971), 1827 – 1830.
- [8] N. A. Talvitie: Electrodeposition of Actinides for Alpha Spectrometric Determination. Anal. Chem. 44 (1972), 280 - 283.
- [9] O. Frindik: Alphaspektrometrische Methoden zur Bestimmung von Plutonium und Uran in Lebensmitteln, biologischem Material und Böden. BFE-Bericht 1980/6 (1980).



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

**Blatt: 3.1.19**

Seite: 8 von 8

Stand: März 2017

- [10] K. W. Puphal, D. R. Olsen: Electrodeposition of Alpha-Emitting Nuclides from a Mixed Oxalate-Chloride Electrolyte. Anal. Chem. 44 (1972), 284 - 289.
- [11] C. W. Sill, D. G. Olson: Sources and Prevention of Recoil Contamination of Solid-State Alpha Detectors. Anal. Chem. 42 (1970), 1596 - 1607.

---

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