



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

**Blatt: 3.1.16**

Seite: 1 von 4

Stand: August 2015

**Überwachung der Radioaktivität von Fisch durch Gammaskpektrometrie**

Bearbeiter: K. Hübel, J. Litzke, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg

**Inhaltsverzeichnis**

1	Zweck der Überwachungsmaßnahme.....	1
2	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze.....	1
3	Messverfahren.....	1
	3.1 Probenentnahme.....	1
	3.2 Probenaufarbeitung.....	1
	3.3 Messung.....	2
	3.4 Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze.....	2
4	Bewertung des Verfahrens.....	3
5	Dokumentation.....	3
6	Bemerkungen.....	3
7	Literatur.....	3

**1 Zweck der Überwachungsmaßnahme**

Die Untersuchung der Immissionen im hydrobiologischen Material spielt für die Ermittlung der Strahlenexposition des Menschen an jedem Standort einer kerntechnischen Anlage eine große Rolle. Bei Vorausberechnungen wird hier stets von konservativen Werten ausgegangen; die wirkliche Strahlenbelastung infolge der standortspezifischen Verhältnisse nach längerer Betriebsdauer einer Anlage kann nur durch entsprechende Immissionsmessungen ermittelt werden.

Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft ist für die Strahlenexposition des Menschen der Fischverzehr ein relevanter Expositionspfad. Infolge der innerhalb einer kritischen Bevölkerungsgruppe stark schwankenden Lebensgewohnheiten in Bezug auf die verzehrte Menge kann hier die Strahlenbelastung der Einzelperson im Vergleich zu anderen Expositionspfaden relativ hoch werden.

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

Für alle Materialien kommt als Messgröße die spezifische Aktivität in Bq/kg Frischmasse (FM) in Betracht, sie soll nach Einzelnucliden aufgliedert sein. Aufgrund der Strahlenschutzverordnung in der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass eine Strahlenbelastung auf diesem Expositionspfad von 0,1 mSv/a tolerierbar ist. Unter Berücksichtigung der Verzehrsgewohnheiten ist dann eine Nachweisgrenze von 200 mBq/kg = 0,2 Bq/kg FM (bezogen auf Co-60) zu fordern.

**3 Messverfahren**

**3.1 Probenentnahme**

Die Fische sollen in der Regel halbjährlich im Frühjahr und Herbst im Vorfluter gefangen werden. Es soll angestrebt werden, dass dabei Fische zur Untersuchung gelangen, die sich ständig oberhalb bzw. unterhalb der kerntechnischen Anlage aufgehalten haben. Diese Forderung ist nur beim Vorhandensein von Staustufen ohne Fischleitern streng erfüllbar. Für größere Mengen empfiehlt sich die elektrische Abfischung. Es sollten nach Möglichkeit Fische mit verschiedenen Lebensgewohnheiten wie Raubfische, Plankton- und Pflanzenfresser, Gründler u. a. untersucht werden, soweit sie zum menschlichen Verzehr geeignet sind. Mindestens sollte für die Untersuchung 1 kg Fischfleisch als Frischmasse zur Verfügung stehen.

**3.2 Probenaufarbeitung**

Die Fische werden einer besonderen Behandlung unterzogen. Da nur das vom Menschen zu verzehrende Material zu untersuchen ist, werden bei Süßwasserfischen Knochen, Schuppen, Flossen, Köpfe und



dergleichen nach Abdämpfen entfernt. Das Fischfleisch wird zerkleinert und zu Konzentrierungszwecken in Porzellanschalen zunächst bei 105°C im Trockenschrank getrocknet und dann bei 450°C im Muffelofen trocken verascht. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. Abdecken mit perforierter Metallfolie, ist die Sauerstoffzufuhr zu begrenzen, um ein Selbstentzünden der Probe und somit höhere Temperaturen zu vermeiden. Dies ist wegen der sonst zu erwartenden Caesiumverluste von besonderer Bedeutung. Beide Vorgänge sollen langsam, d. h. über mehrere Stunden, erfolgen. Die Asche wird im Mörser homogenisiert und in geeigneten Gefäßen (z. B. Kunststoffflaschen oder Reagenzgläsern bei Bohrlochdetektoren) als Pulver zur Messung gebracht. Dabei sollten mindestens 10 g zur Verfügung stehen.

### 3.3 Messung

In der Regel wird eine  $\gamma$  spektrometrische Einzelnuklidanalyse mit 4000 Kanälen ausreichend sein. Als Messgeräte kommen Vielkanalanalysatoren mit Reinstgermaniumdetektoren in Betracht. Die Messdauer sollte mindestens 20 Stunden betragen.

Die Messwerte werden nuklidspezifisch als spezifische Aktivität ausgegeben. Eine Umrechnung vom Glührückstand zur Frischmasse ist erforderlich.

### 3.4 Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze

Die Messunsicherheit und die zu erreichende Nachweisgrenze hängen stark von der verwendeten Messanordnung ab. Abschirmung und Aufstellungsort beeinflussen den hier wesentlichen Nulleffekt stark; ebenso schwankt die Empfindlichkeit der heute auf dem Markt befindlichen Detektoren mindestens um den Faktor 3.

Mit einer Anordnung mittlerer Qualität kann bei einer Messdauer von 72000 Sekunden (20 Stunden) und einer Probeneinwaage von 1 kg Frischmasse für Cs-137 eine Nachweisgrenze (NWG) von 0,06 Bq/kg FM erreicht werden. Mit ansteigender Probenmenge wird die Nachweisgrenze erniedrigt, so ist z. B. bei 5 kg Ausgangsmenge die NWG für Cs-137 0,03 Bq/kg FM.

Die Standardmessunsicherheit  $u(A)$  der Aktivität  $A$  wird nach DIN ISO 11929 [1] aus den Unsicherheiten der Nettozählrate  $r_n$  und des erweiterten Kalibrierfaktors  $w$  nach der Gleichung

$$u(A) = \sqrt{r_n^2 \cdot u^2(w) + w^2 \cdot u^2(r_n)} = \sqrt{A^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) + w^2 \cdot u^2(r_n)} \quad (1)$$

ermittelt.

Die Standardmessunsicherheit  $u(w)$  des erweiterten Kalibrierfaktors wird aus den Unsicherheiten seiner Eingangsgrößen  $x_i$  nach folgender Gleichung berechnet:

$$u(w) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial w}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} \quad (2)$$

Unsicherheitsbeiträge aus der Kalibrierung (z. B. ungenaue Ermittlung der energieabhängige Nachweiswahrscheinlichkeit beschreibenden Faktoren aus den Messwerten, Unsicherheit der bestimmten Summationskorrekturen, Fehler bei Dotierung und Homogenisierung, aber auch bei der Linienauswertung bei Linienüberlagerungen und durch nicht genau reproduzierbare Positionierung der Messprobe auf dem Detektor), die liegen im allgemeinen nicht unter 5 %.

Sie können, vor allem bei größeren Summationskorrekturen insgesamt bis zu 7 % betragen. Als Erfahrungswert für die gesamte Messunsicherheit lässt sich ein Wert von etwa 10 % angeben.



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

**Blatt: 3.1.16**

Seite: 3 von 4

Stand: August 2015

Die Erkennungs- und Nachweisgrenze wird nach DIN ISO 11929 ermittelt. Unter der Annahme, dass kein Nulleffekt bei der zur Auswertung herangezogenen Energie vorliegt und die Breiten der Bereiche Rechts und Links vom Peak gleich viele Kanäle haben sowie die Breite des Peakbereichs gleich der Summe der Breiten Rechts und Links vom Peak sind, ergibt sich die Erkennungsgrenze wie folgt:

$$A^* = k_{1-\alpha} \cdot \frac{w}{t_m} \sqrt{2 \cdot n_0} \quad (3)$$

mit:

$n_0$  Summe der Impulse in den Untergrundkanälen

$t_m$  Messdauer (live time) der Probe in s

$k_{1-\alpha}$  Quantil der standardisierten Normalverteilung für den Fehler 1. Art

Die Nachweisgrenze wird dann folgendermaßen berechnet:

$$A^\# = A^* + k_{1-\beta} \cdot w \cdot \sqrt{\frac{A^\#}{w \cdot t_m} + \frac{2 \cdot n_0}{t_m^2} + \frac{A^{\#2} \cdot u_{\text{rel}}^2(w)}{w^2}} \quad (4)$$

mit:

$k_{1-\beta}$  Quantil der standardisierten Normalverteilung für den Fehler 2. Art

Alle Details zur Ermittlung des Erkennungs- und Nachweisgrenze sind in [5] zu finden.

#### **4 Bewertung des Verfahrens**

Der gesamte Untersuchungsgang ist einfach, die Probenvorbereitung kann auch von angelegerten Kräften durchgeführt werden. Alle benötigten Geräte sind in der Regel in Isotopenlaboratorien vorhanden.

#### **5 Dokumentation**

Die spezifische Aktivität sollte, bezogen auf Frischmasse, Trockenmasse und Glührückstand, unter Befügung des Probenentnahmebereichs und Datums festgehalten werden. Die Daten müssen in der Bundesrepublik Deutschland entsprechend den Vorgaben in der REI [6] aufbewahrt werden.

#### **6 Bemerkungen**

Die Kosten hängen stark vom Ausbaustand der verwendeten Messanordnung ab.

#### **7 Literatur**

- [1] DIN ISO 11929 Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen“ (ISO 18589-6:2009), Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2010
- [2] K. Hübel: Gesichtspunkte bei der Probenahme zur Ermittlung der Gesamtradioaktivität, deren Messung und spezielle gammaspektrometrische Verfahren. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band 19 (1971) S. 201
- [3] M. Ruf: Einzelnuklidbestimmung im Wasser und hydrobiologischem Material mit radiochemischen und spektrometrischen Methoden. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band 19 (1971) S. 222
- [4] Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“, von der Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit abrufbar:



<http://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen>.

- [5] Loseblattsammlung FS-78-15-AKU, Blatt 5.5 „Beispiele zur Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenze gemäß DIN ISO 11929“  
[http://www.fs-ev.org/fileadmin/user\\_upload/04\\_Arbeitsgruppen/13\\_Umweltueberwachung/02\\_Dokumente/Loseblattsammlung/Loseblattsammlung/LB5\\_5.pdf](http://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/13_Umweltueberwachung/02_Dokumente/Loseblattsammlung/Loseblattsammlung/LB5_5.pdf)
- [6] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, GMBI. Nr. 29 vom 19.08.1993, S. 502-528 (mit den Anhängen A und D) und GMBI. Nr. 9/10 vom 20.03.1996, S. 195-246 (mit den Anhängen B, C1 und C2).

---

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