

**Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung  
der Gesamt-Gamma-/Gesamt-Beta-  
Aktivitätskonzentration in Fließgewässern**

C- $\gamma/\beta$ -GESAMT-OWASS-01

Bearbeiter:  
H. Mundschenk

Leitstelle für Oberflächenwasser, Schwebstoff  
und Sediment in Binnengewässern

ISSN 1865-8725

Version Dezember 1994

Messanleitungen für die „Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“

## 2 Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung der Gesamt-Gamma-/Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration in Fließgewässern

### 1 Anwendbarkeit

Die kontinuierliche Bestimmung der Gesamt-Gamma-/Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle eines Gewässers stellt ein Monitorverfahren dar, mit dem Bundeswasserstraßen empfindlich und zeitkritisch auf radioaktive Stoffe im Falle eines erhöhten Eintrags überwacht werden. Diese Messungen geben in einem Ereignisfall einen raschen Überblick über Eintrag und zeitlichen Verlauf der Kontamination eines Gewässers. Darüber hinaus bilden solche Informationen die Grundlage für ggfs. zu veranlassende weiterführende Maßnahmen.

Die bei einer effektiven Meßzeit von 10 Minuten noch meßbare kleinste Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle, die durch die Erkennungsgrenze gekennzeichnet ist, liegt im Gamma-Meßkanal bei  $2 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  und im Beta-Meßkanal bei  $4 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ . Hinweise auf die Zusammensetzung des in einem Ereignisfall vorliegenden Nuklidgemisches können den Meßwerten nicht entnommen werden. Im Falle erhöhter Einträge sind daher zur radiologischen Bewertung der Lage Einzelnuklidbestimmungen unverzichtbar.

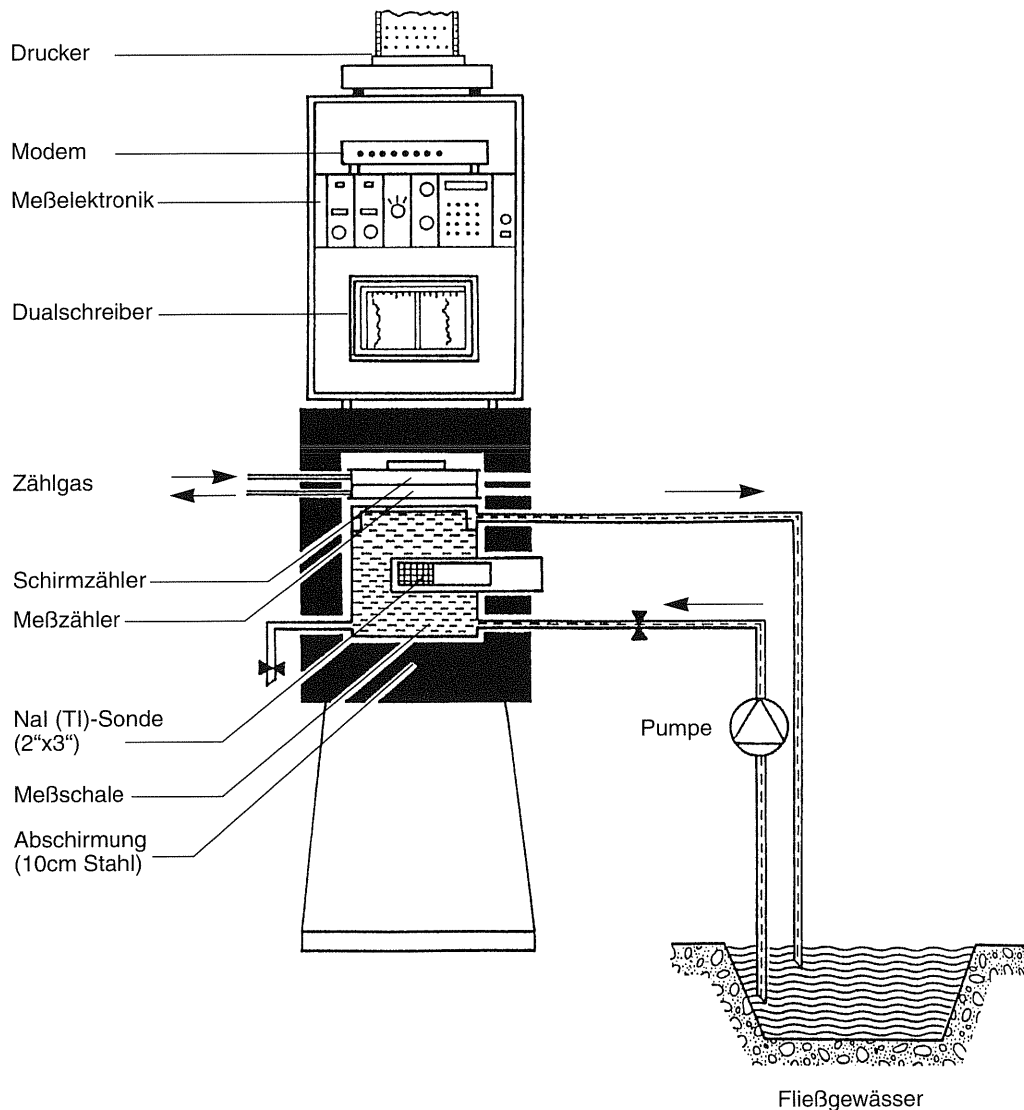
### 2 Probeentnahme

Mit einer Pumpe wird Wasser aus der fließenden Welle kontinuierlich durch eine abgeschirmte Meßschale geleitet, wobei die Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration mit einer Szintillationssonde und die Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration mit einem Großflächenproportionalzähler simultan gemessen werden (Abb. 1). Bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 3 Liter pro Minute und einem Inhalt der Meßschale von 30 Litern wird das gesamte Probenvolumen in einem Zeitraum von 10 Minuten einmal erneuert.

Die Meßzeit ist auf 10 Minuten begrenzt. Bei einer Fließgeschwindigkeit von  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (typisch für ein freifließendes Gewässer) bzw.  $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (typisch für ein staugeregeltes Gewässer) entspricht die vorgegebene Meßzeit einem Flußabschnitt von 600 m bzw. 120 m Länge. Hierdurch wird auch bei schnell ablaufenden Einträgen radioaktiver Stoffe eine ausreichend hohe zeitliche wie lokale Auflösung bei der Detektion kontaminierter Gewässerabschnitte erreicht.

### 3 Analytik

Das beschriebene Verfahren dient zur kontinuierlichen Direktmessung der Gesamt-Gamma-/Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle eines Gewässers, wobei Probenvorbereitung und radiochemische Trennung entfallen.



**Abb. 1:** Warnstelle zur kontinuierlichen Bestimmung der Gesamt-Gamma-/Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration in Fließgewässern

## 4 Messung der Aktivität

### 4.1 Meßeinrichtung

Mit den im Warnstellennetz der Bundesanstalt für Gewässerkunde betriebenen stationären Meßeinrichtungen werden im Rahmen des Integrierten Meß- und Informationssystems des Bundes (IMIS) Bundeswasserstraßen an 40 Standorten fortlaufend überwacht und die Meßwerte über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen als Stundenwerte in einem FIFO-Speicher abgespeichert (1 bis 3). Im *Normalfall* werden die gespeicherten Meßwerte täglich von einem zentralen Meßnetzrechner über DATEX L 2400 automatisch abgerufen, auf Plausibilität überprüft, aufbereitet und bewertet. Im *Ereignisfall* erfolgt bei Überschreiten vorgegebener Grenzwerte eine Eigenmeldung durch die jeweilige Warnstelle an den Meßnetzrechner, der, nach einer ersten Plausibilitätsprüfung anhand von Betriebszustandsdaten, über Eurosignal ggfs. die Rufbereitschaft der Bundesanstalt für Gewässerkunde eigenständig alarmiert.

Die Messung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration in der mit 10 cm Stahl abgeschirmten Meßschale erfolgt mit einer 2"  $\times$  3"-NaI(Tl)-Szintillationssonde, die der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration mit einem 25  $\times$  25 cm-Großflächenproportionaldetektor. Die Meßwerte werden simultan sowohl auf Papierstreifen fortlaufend registriert, als auch gemittelt in Form von Stundenwerten im FIFO-Speicher abgespeichert. Bei einem Umfang des Aktivitätsbereiches bzw. des Registrierstreifens des Dualschreibers von jeweils 5 Dekaden ist die Erfassung auch außergewöhnlicher Belastungen eines Fließgewässers mit radioaktiven Stoffen gewährleistet. Der Ausdruck der abgespeicherten Meßwerte mittels Drucker ist ebenfalls möglich, unter Normalbedingungen jedoch nicht vorgesehen.

Der Gesamt-Beta-Meßkanal ist mit einem kombinierten Schirm-/Meßzähler (Typ FH 407 G1) ausgestattet, wodurch der auf die Umgebungsstrahlung zurückgehende Nulleffekt durch Differenzbildung reduziert wird. Der Meßzähler (Fenster: Mit Aluminium bedampfte Folie, entsprechend einer Flächenbelegung von  $1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ; Fenstergröße:  $625 \text{ cm}^2$ ) ist in einem Abstand von ca. 5 mm über der mit Wasser durchströmten Meßschale angebracht. Um ein Verschmutzen des Zählrohrfensters durch Wasserspritzer bzw. durch sich absetzende Schwebstoffteilchen zu vermeiden, ist die eigentliche Meßschale mit einer Kunststoffolie zusätzlich abgedeckt (Dicke:  $1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ). Die Gesamt-Beta-Messung ist als redundante Maßnahme insbesondere bei einer Plausibilitätsprüfung im Falle einer Erhöhung der Zählrate im Gesamt-Gamma-Meßkanal von Bedeutung.

Die untere Energieschwelle der 2"  $\times$  3"-Szintillationssonde ist auf 100 keV eingestellt. Eine Ansteuerung der beiden Grenzwerte, oberhalb der im Falle eines erhöhten Eintrages radioaktiver Stoffe in das überwachte Gewässer eine entsprechende Warnung (Schwelle 1) bzw. Alarmierung (Schwelle 2) ausgelöst wird, erfolgt durch den Gamma-Meßkanal. Wichtige Gerätefunktionen (z. B. Stromversorgung, Zählerausfall, Pumpenausfall u. a.) werden über Sensoren überwacht und im Versagensfall, ebenso wie eine Schwellenüberschreitung im Ereignisfall, über eine Eigenmeldung der Warnstelle an den zentralen Meßnetzrechner weitergeleitet und gleichzeitig für den Warnstellenbetreuer mittels Drucker protokolliert.

Die Meß- und Steuerelektronik basiert im wesentlichen auf einem mikroprozessor-gesteuerten Datalogger vom Typ BAI 9111, der über DATEX L 2400 eigenständig oder nach Aufruf Meßwerte und Betriebszustände zum zentralen Meßnetzrechner überträgt (4).

Als Beispiel für die vor Ort vorgesehene simultane Meßwertdarstellung ist die an der Warnstelle Rheine/Ems gemessene Gesamt-Gamma- und Gesamt-Beta-Zählrate nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Abbildung 2 aufgetragen. Der synchrone Anstieg der Zählraten im Gesamt-Gamma- und Gesamt-Beta-Meßkanal am 4. Mai 1986/3<sup>00</sup> ist ein wichtiger Hinweis darauf, daß der Verlauf durch einen Aktivitätseintrag in die Ems und nicht etwa durch eine elektronische Störung verursacht wurde.

Die zum Meßnetzrechner übertragenen Zählraten werden unter Berücksichtigung des lokalen Nulleffektes und des Kalibrierfaktors  $\phi$  in Einheiten der Cs-137-äquivalenten Aktivitätskonzentration umgerechnet. Je nach Erfordernis kann eine Ausgabe als Stunden-, Tagesmittel-, Monatsmittel- oder auch als Quartalsmittelwerte erfolgen. Als Beispiel ist in Abbildung 3 der Verlauf der Aktivitätskonzentration im Gamma- und Beta-Meßkanal in der Zeit vom 19. Juni bis 22. Juni 1992 aufgetragen (Stundenwerte). Der ausgeprägte Anstieg der Aktivitätskonzentration in beiden Meßkanälen ist auf die am 20. Juni/17<sup>00</sup> Uhr einsetzenden Niederschläge zurückzuführen, durch die kurzlebige natürliche Radionuklide (Pb-214, Bi-214) als Folgeprodukt von Rn-222 aus der Atmo-

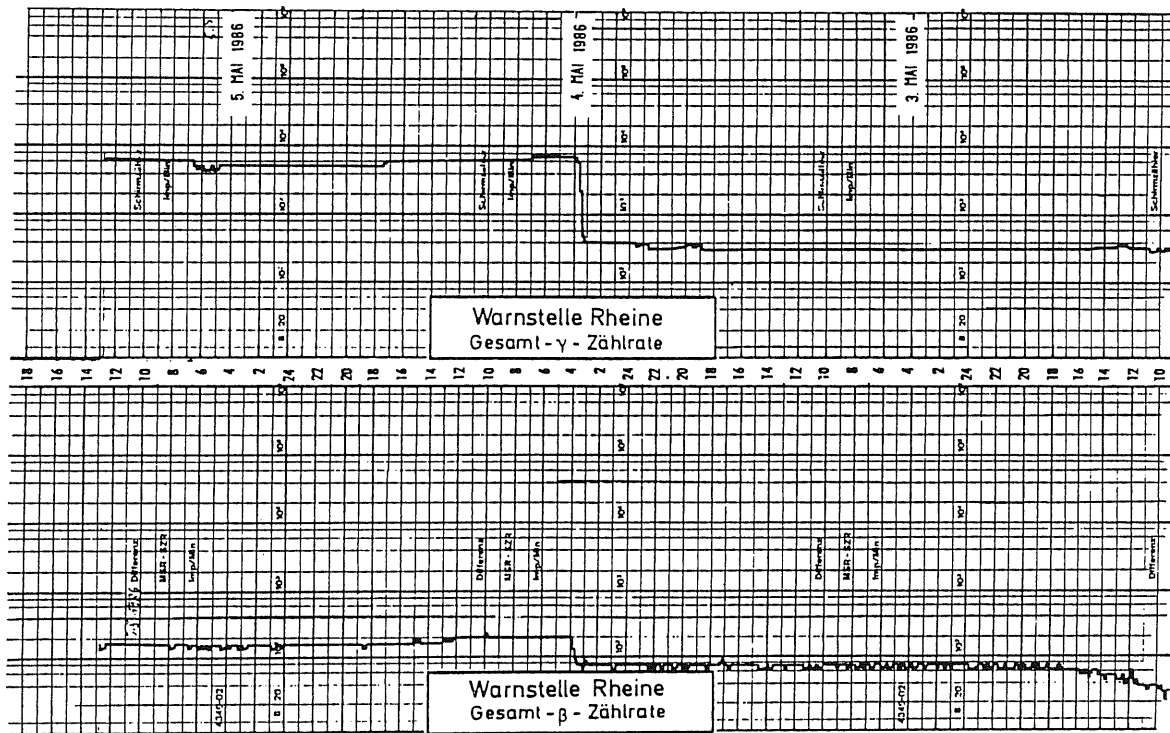


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Gesamt-Gamma- und Gesamt-Beta-Zählrate an der Warnstelle Rheine/Ems nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl

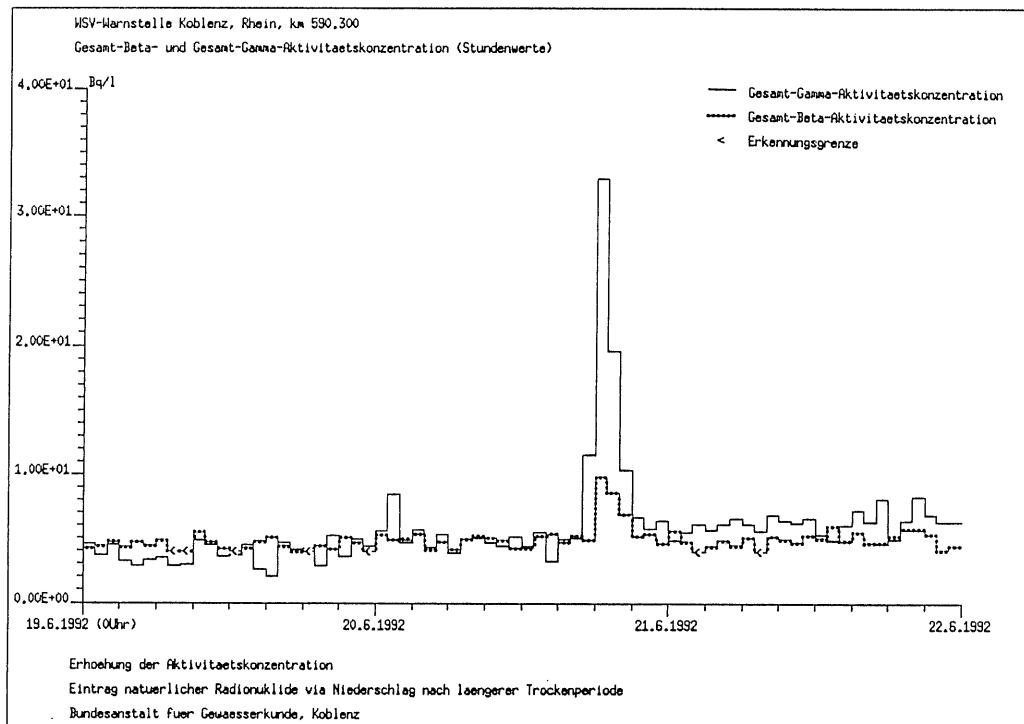


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Gesamt-Gamma- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration an der Meßstelle Koblenz/Rhein in der Zeit vom 19. bis 22. Juni 1992 (Stundenwerte)

sphäre ausgewaschen und in die Oberflächengewässer eingetragen wurden (3). Hierbei wurde die Alarmschwelle im Gesamt-Gamma-Meßkanal von  $25 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  überschritten. Zur Vermeidung von Fehlalarmen wird ein elektronisches Zeitfenster verwendet, mit dem solche kurzzeitigen Störungen rechnergestützt wirksam eliminiert werden können.

## 4.2 Kalibrierung der Meßeinrichtung

Die kontinuierliche Bestimmung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle stellt ein Monitorverfahren dar, mit dem Oberflächengewässer empfindlich und zeitkritisch auf Einträge radioaktiver Stoffe überwacht werden. Werden vorgegebene Grenzwerte überschritten, müssen weiterführende Einzelnuklidbestimmungen durchgeführt werden.

Bei der Umrechnung der gemessenen Zählraten  $R$  in Einheiten der Aktivitätskonzentration  $c$  wird die Zählhausbeute  $\epsilon$  bzw. der Kalibrierfaktor  $\phi$  des Bezugsnuklides Cs-137 zugrundegelegt. Somit sind alle Konzentrationsangaben als dem Cs-137 äquivalente Gehalte anzusehen.

Die Kalibrierung der Meßeinrichtung wurde unter den gleichen meßgeometrischen Bedingungen wie die eigentlichen Messungen mit Lösungen bekannter Cs-137-Konzentration vorgenommen. Aus der gemessenen Bruttozählrate  $R_b$  ( $\text{s}^{-1}$ ), der bekannten Cs-137-Konzentration der Kalibrierlösung  $c_{\text{Cs-137}}$  ( $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ ), dem Probenvolumen der Meßschale  $V$  (l) kann unter Berücksichtigung der Nulleffektzählrate  $R_o$  ( $\text{s}^{-1}$ ) die gesuchte Zählhausbeute  $\epsilon_{\text{Cs-137}}^\gamma$  wie folgt berechnet werden:

$$\epsilon_{\text{Cs-137}}^\gamma = \frac{R_b - R_o}{c_{\text{Cs-137}} \cdot V} = \frac{R_n}{c_{\text{Cs-137}} \cdot V} \quad (1)$$

Da das Probenvolumen  $V$  festliegt, können  $\epsilon_{\text{Cs-137}}^\gamma$  und  $V$  zu einem Kalibrierfaktor  $\phi_{\text{Cs-137}}^\gamma$  zusammengefaßt werden:

$$\phi_{\text{Cs-137}}^\gamma = \frac{1}{\epsilon_{\text{Cs-137}}^\gamma \cdot V} \quad (2)$$

**Tabelle 1:** Kalibrierfaktoren  $\phi_r^\gamma$  (Gamma-Meßkanal) und  $\phi_r^\beta$  (Beta-Meßkanal) einer Warnstelle für ausgewählte Radionuklide

Radionuklid	Halbwertszeit (Jahre)	Zerfallsart	$E_\gamma$ (keV)	$p_\gamma$	$\phi_r^\gamma$ [ $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$ ]	$\phi_r^\beta$ [ $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$ ]
K-40	$1,28 \cdot 10^9$	EC, $\beta^-$	1460,81	0,1067	5,3	73
Mn-54	0,8550	EC	834,84	0,9998	4,1	330
Co-57	0,7441	EC	122,06 136,47	0,8560 0,1068	85	3500
Co-60	5,2717	EC, $\beta^-$	1173,24 1332,50	0,9986 0,9998	2,1	62
Zn-65	0,6687	EC, $\beta^+$	1115,55	0,5060	7,9	440
Sr-90/Y-90	28,78	$\beta^-$	–	–	33	7,2
Cs-134	2,0651	$\beta^-$	604,72 795,86	0,9763 0,8540	1,9	89
Cs-137	30,17	$\beta^-$	661,66	0,8510	5,4	130

Eine beispielhaft durchgeführte Kalibrierung einer Warnstelle mit ausgewählten Radionukliden ergab erwartungsgemäß sehr unterschiedliche Kalibrierfaktoren  $\varphi_r^\gamma$  und  $\varphi_r^\beta$  für Gamma- und Beta-Meßkanal (Tabelle 1). Hieraus folgt, daß die aus den gemessenen Zählraten  $R_n$  berechnete Aktivitätskonzentration  $c_{Cs-137}^\gamma$  lediglich eine orientierende Information zur Kontamination des überwachten Gewässers darstellt, die, je nach Nuklidgemisch, von der Summe der Einzelnuklidgehalte mehr oder weniger abweichen kann.

### 4.3 Störungen

Bei Niederschlägen nach längeren Trockenperioden können in der Atmosphäre aerosolartig vorliegende Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen – insbesondere Pb-214 und Bi-214 – in die Gewässer eingetragen werden und so eine Erhöhung der Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle bewirken, die  $30 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  und mehr betragen kann. Hierbei werden Warn- und Alarmschwellen überschritten.

Zur Vermeidung von Fehlalarmen ist ein elektronisches Zeitfenster vorgesehen, wodurch diese kurzlebigen Störnuklide rechnergestützt wirksam eliminiert werden können.

## 5 Berechnung der Analysenergebnisse

Die Berechnung der Cs-137-äquivalenten Aktivitätskonzentration  $c_{Cs-137}^\gamma$  in der fließenden Welle wird nach folgender Beziehung vorgenommen:

$$c_{Cs-137}^\gamma = \varphi_{Cs-137}^\gamma \cdot (R_b - R_o) = \varphi_{Cs-137}^\gamma \cdot R_n \quad (3)$$

Eine Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls ist nicht erforderlich, da Zeitpunkt der Messung und Entnahme der Wasserprobe nahezu zusammenfallen.

Der bei der Messung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration  $c_{Cs-137}^\gamma$  auftretende zählstatistische Fehler  $s_n$  wird für die Einzelmessung nach folgender Beziehung berechnet:

$$s_n = \sqrt{\frac{R_o}{t_o} + \frac{R_b}{t_m}} \quad \text{s}^{-1} \quad (4)$$

Hieraus ergibt sich der zählstatistische Fehler  $s(c_{Cs-137}^\gamma)$  der Aktivitätskonzentration  $c_{Cs-137}^\gamma$  zu:

$$s(c_{Cs-137}^\gamma) = \varphi_{Cs-137}^\gamma \cdot \sqrt{\frac{R_b}{t_m} + \frac{R_o}{t_o}} \quad \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (5)$$

und der relative zählstatistische Fehler  $s^r(c_{Cs-137}^\gamma)$  zu:

$$s^r(c_{Cs-137}^\gamma) = \frac{s(c_{Cs-137}^\gamma)}{c_{Cs-137}^\gamma} = \frac{\varphi_{Cs-137}^\gamma \cdot \sqrt{\frac{R_b}{t_m} + \frac{R_o}{t_o}}}{c_{Cs-137}^\gamma} \quad (6)$$

## 5.1 Rechenbeispiel

Ermittlung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration  $c_{\text{Cs-137}}^\gamma$  in der fließenden Welle eines Gewässers.

Kalibrierfaktor der Meßanordnung:	$\varphi_{\text{Cs-137}}^\gamma = 5,4 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$
Meßzeit des Nulleffektes	: $t_o = 6000 \text{ s}$
Meßzeit der Probe in Meßschale	: $t_m = 600 \text{ s}$
Nulleffektzählrate	: $R_o = 10 \text{ s}^{-1}$
Bruttozählrate	: $R_b = 15 \text{ s}^{-1}$

Hieraus erhält man die gesuchte Cs-137-äquivalente Aktivitätskonzentration  $c_{\text{Cs-137}}^\gamma$  des überwachten Fließgewässers nach Gl. 3 zu:

$$c_{\text{Cs-137}}^\gamma = 5,4 \cdot (15 - 10) = 27 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Der zugehörige zählstatistische Fehler  $s(c_{\text{Cs-137}}^\gamma)$  für die Einzelmessung errechnet sich nach Gl. 5 zu:

$$s(c_{\text{Cs-137}}^\gamma) = 5,4 \cdot \sqrt{\frac{10}{6000} + \frac{15}{600}} = 0,88 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Das Ergebnis der Bestimmung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration in der fließenden Welle eines Gewässers (Einzelmessung)  $c_{\text{Cs-137}}^\gamma$  mit dem einfachen zählstatistischen Fehler lautet somit:

$$c_{\text{Cs-137}}^\gamma = (27 \pm 0,9) \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

bzw.

$$c_{\text{Cs-137}}^\gamma = 27 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \pm 3\%$$

## 6 Nachweisgrenzen des Verfahrens

### 6.1 Erkennungsgrenze

Die bei der Bestimmung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration  $c_{\text{Cs-137}}^\gamma$  in der fließenden Welle eines Gewässers erreichbare Erkennungsgrenze  $g_{\text{Cs-137}}^{\gamma*}$  kann nach folgender Beziehung abgeschätzt werden:

$$g_{\text{Cs-137}}^{\gamma*} = k_{1-\alpha} \cdot \varphi_{\text{Cs-137}}^\gamma \cdot \sqrt{\frac{R_o}{t_m} \left(1 + \frac{t_m}{t_o}\right)} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (7)$$

Bei hinreichend genau bekanntem Nulleffekt ( $t_o \gg t_m$ ), was die Regel ist, kann Gleichung 7 entsprechend vereinfacht werden:

$$g_{\text{Cs-137}}^{\gamma*} = k_{1-\alpha} \cdot \varphi_{\text{Cs-137}}^\gamma \cdot \sqrt{\frac{R_o}{t_m}} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (8)$$



So kann beispielsweise für eine typische Warnstelle mit einer Nulleffektzählrate von  $R_o = 10 \text{ s}^{-1}$ , einem Kalibrierfaktor von  $\phi_{\text{Cs-137}}^\gamma = 5,4 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$ , einer Meßzeit von  $t_m = 600 \text{ s}$ , für einen Konfidenzkoeffizienten von  $k_{1-\alpha} = 3$  eine auf Cs-137 bezogene Erkennungsgrenze von  $g_{\text{Cs-137}}^{\gamma*} = 2,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  erhalten werden.

## 6.2 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze  $g_{\text{Cs-137}}^\gamma$  des Verfahrens zur Bestimmung der Gesamt-Gamma-Aktivitätskonzentration  $c_{\text{Cs-137}}^\gamma$  in der fließenden Welle eines Gewässers kann unter Einbeziehung des Konfidenzkoeffizienten  $k_{1-\beta}$  wie folgt berechnet werden (siehe Kapitel IV.5 dieser Meßanleitungen):

$$g_{\text{Cs-137}}^\gamma = \frac{k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}}{k_{1-\alpha}} \cdot g_{\text{Cs-137}}^{\gamma*} \quad \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (9)$$

Für  $k_{1-\beta} = 1,645$  kann die Nachweisgrenze des Verfahrens zu  $g_{\text{Cs-137}}^\gamma = 3,3 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  angegeben werden. Auf die Besonderheiten der Meßbedingungen zur Limitierung der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\beta$  (Fehler 2. Art) und Gewährleistung einer statistischen Sicherheit  $1 - \beta$  wird nachdrücklich hingewiesen.

## 7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

### 7.1 Chemikalien

- Standardlösung (Aktivitätsnormal) von Cs-137 der Phys.-Tech. Bundesanstalt, 38116 Braunschweig

### 7.2 Geräte

- Mikroprozessorgesteuerter Datenlogger vom Typ BAI9111 mit Drucker und Dualschreiber der Fa. EG & G Berthold, 75312 Wildbad
- Großflächenproportionalzählrohr mit kombiniertem Schirm-/Meßzähler
- $2'' \times 3''$ -NaI(Tl)-Szintillationsdetektor in Integral-line Ausführung
- Stahlabschirmung, 10 cm dick
- Meßschale aus Troidur, Eigenbau der Bundesanstalt für Gewässerkunde
- Förderpumpe vom Typ SZ 40s GE der Fa. DIA-Pumpenfabrik, 40011 Düsseldorf

## 8 Literatur

- (1) Mundschenk, H., Rautenstrauch, A.: Ein stationäres Meßnetz zur Erfassung der Kontamination von Bundeswasserstraßen mit radioaktiven Stoffen im V- und Störfall, Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, April 1980
- (2) Mundschenk, H.: Überwachung der Bundeswasserstraßen auf radioaktive Stoffe nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG). 1. Fachliches Kolloquium zum Integrierten Meß- und Informationssystem (IMIS) zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt, Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg, 18.–20. April 1989. Tagungsbericht S. 23–29. Hrsg.: Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Postfach 12 06 29, 53048 Bonn

- (3) Mundschenk, H., Krause, W. J., Dersch, G., Wengler, P.: Überwachung der Bundeswasserstraßen auf radioaktive Stoffe im Normal- und Ereignisfall. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Januar 1994, BfG-0783
- (4) Technische Unterlagen zum Mikro-Datenlogger-System BAI 9111 der Fa. EG & G Berthold, 75312 Bad Wildbad