

**Verfahren zur Bestimmung
von Strontium-89 und Strontium-90
in Oberflächenwasser
im Falle erhöhter Freisetzungen**

C-Sr-89/Sr-90-OWASS-02

Bearbeiter:
H. Mundschenk

Leitstelle für Oberflächenwasser, Schwebstoff
und Sediment in Binnengewässern

9 Verfahren zur Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 in Oberflächenwasser im Falle erhöhter Freisetzungen

1 Anwendbarkeit

Zur Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 in Oberflächenwasser im Falle einer erhöhten Freisetzung wird von einem Probenvolumen von einem Liter ausgegangen. Die erreichbaren Erkennungsgrenzen und Genauigkeit der Werte hängen ganz entscheidend vom Meßzeitaufwand ab. Hierbei ist stets zwischen der geforderten Schnelligkeit des Verfahrens und der in Kauf zu nehmenden Unsicherheit der Meßwerte abzuwägen. Unter praxisnahen Bedingungen können bei einem Zeitaufwand von maximal 2 Tagen Gehalte bis zu einer Größenordnung von $0,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ selbst bei einem Isotopenverhältnis Sr-89/Sr-90 = 10 noch gemessen werden. Erste orientierende Hinweise über die Höhe der in der Probe vorliegenden Nuklidgehalte können bereits nach einem Arbeitstag erhalten werden. Mehrere Proben können gleichzeitig verarbeitet und die Meßpräparate in entsprechend ausgelegten Meßeinrichtungen simultan gemessen werden.

2 Probeentnahme

Die Probeentnahme ist unter Verfahren C- γ -SPEKT-OWASS-01 beschrieben.

3 Analytik

3.1 Prinzip der Methode

Zu einem Liter einer unfiltrierten und mit verdünnter Salzsäure schwach angesäuerten Wasserprobe wird Strontiumträger zugesetzt. Anschließend werden Sr-89 und Sr-90 mit Natriumcarbonat-Lösung an Strontiumcarbonat/Calciumcarbonat zusammen mit anderen Bestandteilen ausgefällt. Nach dem Auflösen in konzentrierter Salzsäure, Verdünnen mit dest. Wasser, Filtrieren durch Membranfilter, wird im Filtrat Strontiumcarbonat erneut gefällt.

Nach dem Auflösen des Niederschlages in Salpetersäure werden störende Spalt- und Aktivierungsprodukte in 5 Nitratfällungen in konzentrierter Salpetersäure bei $<0^\circ \text{C}$ sukzessive abgetrennt. Evtl. Anteile von Ba-140 werden über eine Bariumchromat-Fällung und Reste von nachgebildetem Y-90 mit einer Yttriumhydroxid-Scavenger-Fällung entfernt. Nach erneuter Fällung als Strontiumcarbonat wird der Aktivitätsanstieg des Tochternuklids Y-90 mit einem Proportionalzähler fortlaufend gemessen. Durch entsprechende Auswertung und Auftragung können die in der Probe vorliegenden Anteile von Sr-89 und Sr-90 unmittelbar ermittelt werden. Erste orientierende Aussagen über die Gehalte beider Strontiumisotope können bereits etwa 8 Stunden nach Beginn der Aufarbeitung der Proben erhalten werden. Durch Fortsetzung der Messungen können die Sr-89- und Sr-90-Anteile zunehmend genauer abgeschätzt und somit der zählstatistische Fehler herabgesetzt werden. Das Meßpräparat kann zu einem späteren Zeitpunkt erneut

aufgearbeitet werden, wobei beide Nuklide Sr-89 und Sr-90 zu Kontrollzwecken unter günstigeren Bedingungen nach Verfahren C-Sr-89/Sr-90-OWASS-01 bestimmt werden können.

3.2 Probenvorbereitung

Die entnommene (Stichprobe) bzw. gesammelte (Mischprobe) Wasserprobe wird schwach angesäuert und unfiltriert zur weiteren Verarbeitung eingesetzt.

3.3 Radiochemische Trennung

Bei einer unfallbedingten Freisetzung der beiden Strontiumisotope Sr-89 und Sr-90 ist davon auszugehen, daß beide Radionuklide von einer Vielzahl von Spalt- und Aktivierungsprodukten begleitet werden und die Einstellung des radioaktiven Gleichgewichtes zwischen Sr-90 und Y-90 nicht vorausgesetzt werden kann. Eine Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 wird daher aus dem Anstieg der Aktivität des Tochternuklides Y-90 in der über mehrere Nitratfällungen und einer Bariumchromat-Fällung gereinigten Meßprobe vorgenommen. Hierbei wird im einzelnen wie folgt vorgegangen:

3.3.1 Die unfiltrierte Wasserprobe mit einem Volumen von 1 Liter wird mit wenigen ml konzentrierter Salzsäure ($10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) angesäuert (pH-Wert von 1), und anschließend werden 10 ml Strontiumchlorid-Lösung (100 mg Sr^{2+}) zugegeben.

Anmerkung

Der Strontiumgehalt typischer Oberflächengewässer liegt zwischen $0,02$ und $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ und ist somit gegenüber der Trägerzugabe von $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ vernachlässigbar (siehe Meßanleitung C-Sr-89/Sr-90-OWASS-01).

3.3.2 Durch Zugabe von 50 bis 100 ml Natriumcarbonat-Lösung zur homogenisierten Probe bis zur alkalischen Reaktion (pH-Wert von > 9) werden die Erdalkalicarbonate, zusammen mit anderen Bestandteilen (Eisenhydroxid, Schwebstoff u. a.), ausgefällt. Bei erhöhten Calcium-Gehalten der Probe ist der Zusatz an Natriumcarbonat-Lösung ggfs. zu erhöhen.

3.3.3 Der Niederschlag wird nun 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute abzentrifugiert. Der Überstand wird dekantiert und verworfen, der Rückstand wird in ca. 10 ml konzentrierter Salzsäure ($10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) gelöst und anschließend mit 40 ml dest. Wasser verdünnt.

3.3.4 Anschließend wird erneut 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Nach der Zentrifugation wird der Überstand in ein Becherglas überführt (Eluat 1) und der Rückstand nochmals mit ca. 10 ml konzentrierter Salzsäure ($10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) eluiert. Daraufhin werden wiederum ca. 40 ml dest. Wasser zugegeben, zentrifugiert und der Überstand nach der Zentrifugation in das Becherglas zu Eluat 1 überführt.

3.3.5 Die salzsauren Eluate werden mit konzentrierter Ammoniak-Lösung ($18 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) auf einen pH-Wert von 1 eingestellt. Restliche partikuläre Anteile (z. B. Schwebstoff) werden mittels Filtration durch Membranfilter (Porenweite: $0,45 \mu\text{m}$) entfernt.

3.3.6 Durch Zugabe von Natriumcarbonat-Lösung zur filtrierten Lösung bis zur alkalischen Reaktion (pH-Wert von 9) werden die Erdalkalicarbonate erneut ausgefällt.

3.3.7 Die Suspension wird 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert: Der Überstand wird dekantiert und verworfen, der Rückstand wird in 10 ml Salpetersäure ($4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) gelöst.

3.3.8 Zur auf $<0^\circ\text{C}$ abgekühlten salpetersauren Lösung werden 50 ml auf $<0^\circ\text{C}$ gekühlte rauchende Salpetersäure ($24 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) zugegeben und für 3 Minuten mit einem Glasstab gerührt. Abzug benutzen!

Anmerkung

Rauchende Salpetersäure reagiert heftig mit leicht oxidierbaren Stoffen (Ethanol, Terpentin, Holzwolle, Zellstoff u. a.) und wirkt stark ätzend auf Haut, Atemwege und Schleimhäute. Auf die diesbezüglichen Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung wird hingewiesen.

3.3.9 Anschließend wird in einer Kühlzentrifuge 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert: Der Überstand wird dekantiert und verworfen, der Strontiumnitrat-Niederschlag mit restlichen Verunreinigungen wird in 10 ml Salpetersäure ($1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) wiederum gelöst.

3.3.10 Die Fällungsschritte 3.3.8 und 3.3.9 werden viermal wiederholt.

Anmerkung

Mit der Nitratfällung können die relevanten Spalt- und Aktivierungsprodukte von den Strontiumisotopen Sr-89 und Sr-90 wirksam abgetrennt werden. Liegen aus anderweitigen Messungen (z. B. γ -Spektrometrie) Informationen über das Auftreten weiterer Nuklide in der Probe vor, so kann durch eine Trägerzugabe die Trennwirkung bei der Nitratfällung erhöht werden. Ba-140 muß allerdings über eine Bariumchromat-Fällung von Sr-89/Sr-90 abgetrennt werden. Bei sorgfältigen Arbeiten können nach 5 Nitratfällungen chemische Ausbeuten von ca. $\eta_{\text{Sr}} = 80\%$ erreicht werden.

3.3.11 Der Strontiumnitrat-Niederschlag nach der letzten Nitratfällung wird in ca. 50 ml dest. Wasser gelöst und in ein Becherglas überführt.

3.3.12 Zur wäßrigen Lösung von Strontiumnitrat mit Sr-89, Sr-90 und ggfs. Ba-140 werden folgende Zusätze zugegeben:

- 5 ml Bariumchlorid-Lösung (50 mg Ba^{2+})
- 1 ml Essigsäure ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$)
- 2 ml Ammoniumacetat-Lösung ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$)

Der pH-Wert der Lösung ist mit verdünnter Salzsäure ($1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) bzw. Ammoniak-Lösung ($1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) mit Hilfe eines pH-Meters auf einen Wert von 5,5 einzustellen.

3.3.13 Die Lösung wird anschließend auf 95°C erhitzt und Bariumchromat durch tropfenweise Zugabe von 1 bis 2 Natriumchromat-Lösung ($0,3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) in der Siedhitze ausgefällt. Nach dem Absetzen des Niederschlages ist die Vollständigkeit der Fällung durch Zugabe von einigen Tropfen Natriumchromat-Lösung zu überprüfen. Der Überstand muß leicht gelb gefärbt sein!

3.3.14 Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wird die Suspension in einen Zentrifugenbehälter überführt und 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Der Überstand mit Sr-89 und Sr-90 wird anschließend dekantiert und in ein Becherglas überführt; der Rückstand wird verworfen.

Anmerkung

Bei der Bariumchromat-Fällung ist der pH-Wert exakt einzuhalten. Bei stärker saurer Lösung fällt Barium unvollständig, in stärker alkalischer Lösung dagegen fällt Strontium mit aus. Der Anteil Ba-140, der Sr-89/Sr-90 begleitet, liegt bei sorgfältiger Arbeitsweise bei maximal 3 %. Der Anteil Sr-89/Sr-90, der mit Bariumchromat ausfällt, schwankt zwischen 5 und 10 %. Bei stark erhöhten Ba-140-Gehalten in der Probe empfiehlt es sich, die Bariumchromat-Fällung nach Schritt 3.3.13 zu wiederholen.

3.3.15 Zur chromathaltigen Lösung von Sr-89 und Sr-90 werden 10 ml Yttriumchlorid-Lösung (100 mg Y^{3+}) zugegeben und gut vermischt. Anschließend werden Hydraziniumhydroxid tropfenweise zur Reduktion von Cr^{6+} zu Cr^{3+} sowie einige ml Ammoniak-Lösung bis zur alkalischen Reaktion (pH-Wert von 9) zugesetzt und kurz erwärmt.

3.3.16 Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wird 5 Minuten bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Der Zeitpunkt der Phasentrennung t_F ist zu notieren. Der farblose Überstand mit Sr-89 und Sr-90 wird dekantiert und in ein Becherglas überführt. Der Rückstand (Chromhydroxid, Yttriumhydroxid mit Y-90) wird verworfen.

3.3.17 Die Lösung mit Sr-89 und Sr-90 wird in einem Becherglas erhitzt und Strontiumcarbonat mit Ammoniumcarbonat im Überschuß ausgefällt.

3.3.18 Nach dem Abkühlen wird der Niederschlag auf einem vorgewogenen Membranfilter (Porenweite: 0,45 μm) abfiltriert, mit Ethanol/Wasser [1/1 (v/v)] kurz nachgewaschen, für 30 Minuten bei 105 °C getrocknet und anschließend zur Bestimmung der chemischen Ausbeute η_{Sr} gewogen (m_{Sr}^g).

3.3.19 Die Meßprobe mit Sr-89 und Sr-90 wird in eine Meßschale überführt, mit Tesafolie überklebt und in einem Proportionalzähler fortlaufend gemessen. Die Zeitpunkte der laufenden Messungen sind zu notieren und auf den Zeitpunkt der Phasentrennung t_F in Schritt 3.3.16 zu beziehen.

3.4 Störungen

Bei der Durchführung der Nitratfällung ist auf die Einhaltung der erforderlichen Kühltemperatur von $<0^\circ C$ zu achten, um Strontium-Verluste zu vermeiden. Entsprechend vorgekühlte Reagenzien bei der Durchführung dieser Schritte erleichtern die radiochemische Reinigung auch unter zeitlich angespannten Bedingungen.

4 Messung der Aktivität

Hinweise zur Messung der Aktivität können Verfahren C-Sr-89/Sr-90-OWASS-01 entnommen werden.

5 Berechnung der Analyseergebnisse

Nach der radiochemischen Reinigung über mehrere Nitratfällungen, Abtrennung des Ba-140 mit Bariumchromat und Entfernung von Y-90 über eine Yttriumhydroxid-Scavenger-Fällung zum Zeitpunkt t_F wird der Aktivitätsanstieg des Tochternuklides Y-90 in der Meßprobe von Sr-90 und Sr-89 bei Meßzeiten von $t_m = 100$ Minuten fortlaufend

verfolgt. Die Zeitmarken der einzelnen Messungen sind auf den Zeitpunkt der Abtrennung t_F zu beziehen. Zur Veranschaulichung des Y-90-Anstieges in einer derart gereinigten Meßprobe ist der Verlauf der Zählrate nach einer Yttriumchlorid-Scavenger-Fällung bei t_F für drei verschiedene Nuklidverhältnisse Sr-89/Sr-90 in Abb. 1 beispielhaft aufgetragen.

Auswertung und Ermittlung der einzelnen Nuklidanteile von Sr-89 und Sr-90 erfolgen in mehreren Schritten:

5.0.1 Der Verlauf der bei den Messungen erhaltenen Nettozählrate $R_n(t_i)$, die die einzelnen Anteile R_{Sr-90} , R_{Sr-89} und R_{Y-90} umfaßt, nach der Yttriumhydroxid-Scavenger-Fällung zum Zeitpunkt t_F kann durch die folgende Beziehung beschrieben werden:

$$R_n(t_i) = R_{Sr-90} \cdot \left\{ 1 + \frac{\varepsilon_{Y-90}}{\varepsilon_{Sr-90}} \cdot [1 - e^{\lambda_{Y-90} \cdot (t_F - t_i)}] \right\} + R_{Sr-89} \cdot e^{\lambda_{Sr-89} \cdot (t_F - t_i)} \quad s^{-1} \quad (1)$$

Durch Umformen erhält man folgende Beziehung:

$$\frac{R_n(t_i)}{e^{\lambda_{Sr-89} \cdot (t_F - t_i)}} = R_{Sr-90} \cdot \frac{1 + \frac{\varepsilon_{Y-90}}{\varepsilon_{Sr-90}} \cdot [1 - e^{\lambda_{Y-90} \cdot (t_F - t_i)}]}{e^{\lambda_{Sr-89} \cdot (t_F - t_i)}} + R_{Sr-89} \quad s^{-1} \quad (2)$$

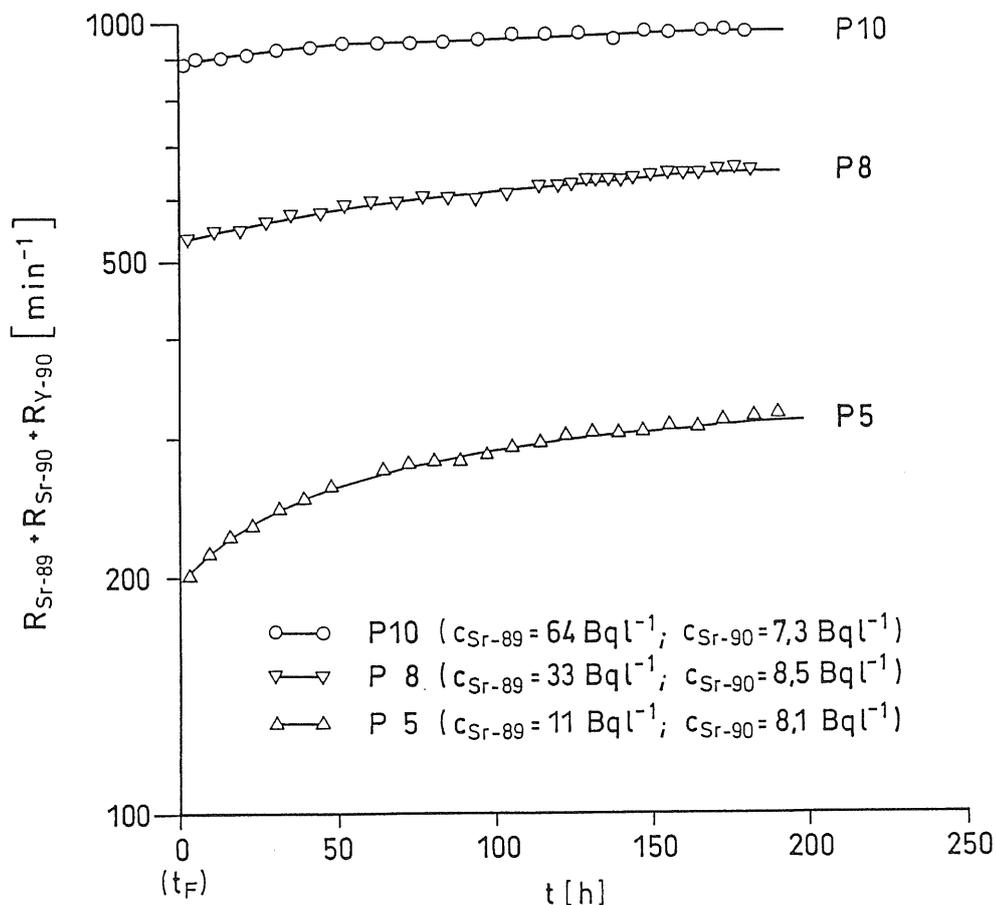


Abb. 1: Anstieg der Zählrate $R_{Y-90}(t_i)$ nach der Yttriumhydroxid-Scavenger-Fällung bei verschiedenen Proben mit unterschiedlichen Nuklidverhältnissen Sr-89/Sr-90

Diese Gleichung entspricht einer linearen Beziehung von der Form:

$$y = R_{\text{Sr-90}} \cdot x + R_{\text{Sr-89}} \quad (3)$$

Hiermit können die einzelnen Nuklidanteile $R_{\text{Sr-89}}$ und $R_{\text{Sr-90}}$ entweder auf graphischem oder auch rechnerischem Wege zum Bezugszeitpunkt t_F durch Extrapolation erhalten werden. So wird bei der Extrapolation auf $x = 0$ unmittelbar die zugehörige Zählrate $R_{\text{Sr-89}}(t_F)$ erhalten; bei $x = 1$ dagegen kann die jeweilige Summe der beiden Zählraten $R_{\text{Sr-90}}$ und $R_{\text{Sr-89}}$ abgelesen oder auch berechnet werden. In Abb. 2 sind die entsprechend Gl. 2 ausgewerteten Zählraten für drei verschiedene Proben mit unterschiedlichen Nuklidverhältnissen Sr-89/Sr-90 beispielhaft aufgetragen (siehe auch Abb. 1) und die Ermittlung der einzelnen Aktivitätsanteile $R_{\text{Sr-89}}(t_F)$ bzw. $R_{\text{Sr-89}}(t_F) + R_{\text{Sr-90}}(t_F)$ durch Extrapolation dargestellt.

5.0.2 Aus der für den Zeitpunkt t_F erhaltenen Zählrate $R_{\text{Sr-89}}(t_F)$ kann unter Zugrundelegung der bekannten Zählausbeute $\epsilon_{\text{Sr-89}}$, der chemischen Ausbeute η_{Sr} , dem Volumen

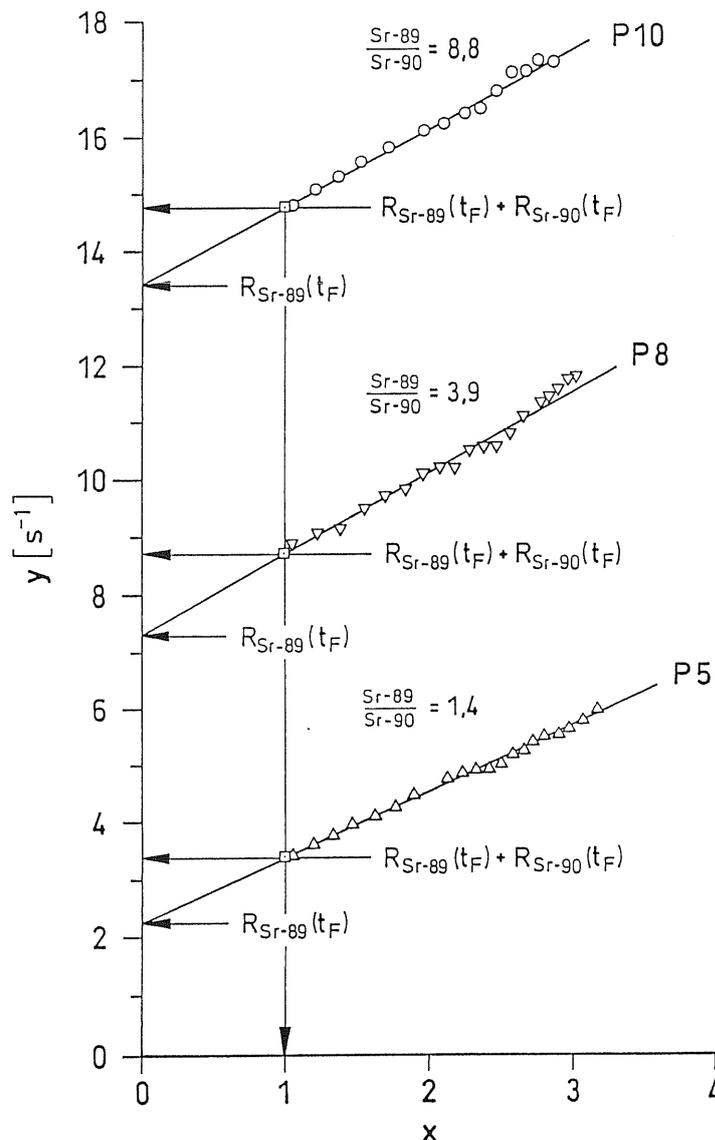


Abb. 2: Ermittlung der einzelnen Anteile $R_{\text{Sr-89}}$ und $(R_{\text{Sr-89}} + R_{\text{Sr-90}})$ durch graphische oder auch rechnerische Extrapolation aus der linearisierten Auftragung der Meßwerte nach Gleichung 2 auf den Zeitpunkt t_F für drei verschiedene Nuklidverhältnisse Sr-89/Sr-90

der Probe V sowie ggfs. unter Berücksichtigung der Selbstabsorption durch Faktor f_s wiederum die entsprechende Aktivitätskonzentration der Probe $c_{\text{Sr-89}}(t_F)$ zum Zeitpunkt t_F :

$$c_{\text{Sr-89}}(t_F) = \frac{R_{\text{Sr-89}}(t_F)}{\varepsilon_{\text{Sr-89}} \cdot \eta_{\text{Sr}} \cdot f_s \cdot V} \quad \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (4)$$

bzw. zum Zeitpunkt der Probeentnahme t_P :

$$c_{\text{Sr-89}}(t_P) = c_{\text{Sr-89}}(t_F) \cdot e^{\lambda_{\text{Sr-89}} \cdot (t_F - t_P)} \quad \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (5)$$

erhalten werden.

5.0.3 Durch Differenzbildung wird $R_{\text{Sr-90}}(t_F)$ auf einfache Weise berechnet und hieraus die gesuchte Aktivitätskonzentration $c_{\text{Sr-90}}(t_F)$ der Probe ermittelt:

$$c_{\text{Sr-90}} = \frac{R_{\text{Sr-90}}(t_F)}{\varepsilon_{\text{Sr-90}} \cdot \eta_{\text{Sr}} \cdot f_s \cdot V} \quad \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (6)$$

Wegen der großen Halbwertszeit von Sr-90 von $t_{\text{Sr-90}} = 28,78 \text{ a}$ ist eine Korrektur zur Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls zwischen t_F und t_P nicht erforderlich.

5.1 Rechenbeispiel

Berechnung der Aktivitätskonzentration $c_{\text{Sr-90}}$ und $c_{\text{Sr-89}}$ in einer Wasserprobe:

Zeitpunkt der Probeentnahme	: t_P	= 1. 07. 1991/12 ⁰⁰
Zeitpunkt der Y(OH) ₃ -Scavenger-Fällung	: t_F	= 2. 07. 1991/12 ⁰⁰
Extrapolierte Zählrate von Sr-89 bei $x = 0$: $R_{\text{Sr-89}}(t_F)$	= 13,3 s ⁻¹
Summenzählrate von Sr-89 und Sr-90 bei $x = 1$: $R_{\text{Sr-89}}(t_F) + R_{\text{Sr-90}}$	= 14,8 s ⁻¹
Zählausbeute für Sr-89	: $\varepsilon_{\text{Sr-89}}$	= 0,263
Zählausbeute für Sr-90	: $\varepsilon_{\text{Sr-90}}$	= 0,257
Volumen der Probe	: V	= 1 l
Zerfallskonstante von Sr-89	: $\lambda_{\text{Sr-89}}$	= 0,000572 h ⁻¹
Selbstabsorptionsfaktor	: f_s	= 1,0
Chemische Ausbeute	: η_{Sr}	= 0,80

Die Aktivitätskonzentration $c_{\text{Sr-89}}(t_P)$ zum Zeitpunkt der Probeentnahme t_P wird nach Gl. 4 und 5 berechnet:

$$c_{\text{Sr-89}}(t_P) = \frac{13,3 \cdot e^{0,000572 \cdot 24}}{0,263 \cdot 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1} = 64,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Die Aktivitätskonzentration $c_{\text{Sr-90}}$ zum Zeitpunkt der Probeentnahme t_P wird entsprechend nach Gl. 6 ermittelt:

$$c_{\text{Sr-90}}(t_P) = \frac{14,8 - 13,3}{0,257 \cdot 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1} = 7,3 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Da die Methode im Falle einer störfallbedingten Freisetzung zum Einsatz kommen soll, in dem orientierende Informationen über die Kontamination von Oberflächenwasser mit den beiden Strontiumisotopen Sr-89 und Sr-90 schnell benötigt werden, wird hier auf eine eingehende Fehlerbetrachtung verzichtet. In einem solchen Falle hat die Schnelligkeit des Verfahrens Vorrang vor einer möglichst hohen Genauigkeit. Das Ergebnis der Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 lautet somit im vorliegenden Fall:

$$c_{\text{Sr-89}}(t_p) = 64 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$c_{\text{Sr-90}}(t_p) = 7 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

6 Nachweisgrenze

6.1 Erkennungsgrenzen des Verfahrens

Die erreichbaren Erkennungsgrenzen $g_{\text{Sr-89}}^*$ und $g_{\text{Sr-90}}^*$ bei der Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 in Oberflächenwasser im Falle einer erhöhten Freisetzung hängen entscheidend von der verfügbaren Zeit bei der Messung des Y-90-Aktivitätsanstieges sowie von dem in der Probe vorliegenden Nuklidverhältnis Sr-89/Sr-90 ab. Da in einem solchen Falle die Ausgangsbedingungen extrem schwanken können und die analytischen Erfordernisse gegenüber den Forderungen nach Schnelligkeit des Verfahrens i. a. zurücktreten müssen, wird auf eine Ableitung der Erkennungsgrenze verzichtet.

Unter praxisnahen Bedingungen sind beide Strontiumisotope in Wasserproben bis zu Gehalten in einer Größenordnung von $0,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ mit vertretbarer Unsicherheit noch bestimmbar.

6.2 Nachweisgrenzen des Verfahrens

Aus den angegebenen Erkennungsgrenzen $g_{\text{Sr-89}}^*$ und $g_{\text{Sr-90}}^*$ können die Nachweisgrenzen beider Nuklide $g_{\text{Sr-89}}$ und $g_{\text{Sr-90}}$ unter Zugrundelegung eines Konfidenzkoeffizienten von $k_{1-\beta} = 1,645$ für den Fehler 2. Art zu $0,16 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ berechnet werden (siehe Kapitel IV.5 dieser Meßanleitungen). Auf die Besonderheiten der Meßbedingungen zur Limitierung der Irrtumswahrscheinlichkeit β (Fehler 2. Art) und Gewährleistung einer vorgegebenen statistischen Sicherheit $1 - \beta$ wird nachdrücklich hingewiesen.

7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

Hinweise über die erforderlichen Chemikalien und Geräte können Meßanleitung C-Sr-89/Sr-90-OWASS-01 entnommen werden.