

Verfahren zur Bestimmung von Strontium-90 in Trinkwasser und Grundwasser

H-Sr-90-TWASS-01

Bearbeiter:

Th. Bünger
H. U. Fusban
I. Gans
H. Rühle

Leitstelle für Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm,
Reststoffe und Abfälle, Abwasser aus kerntechnischen Anlagen

ISSN 1865-8725

Version September 1992

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

4 Verfahren zur Bestimmung von Strontium-90 in Trinkwasser und Grundwasser

1 Anwendbarkeit

Das beschriebene Verfahren dient zur Bestimmung der Sr-90-Aktivitätskonzentration im Trink- und Grundwasser. In der Praxis ist mit dem Auftreten des kurzlebigen Isotops Sr-89 im Trink- und Grundwasser im allgemeinen nicht zu rechnen, insbesondere, wenn das Rohwasser aus «geschützten» Wasservorkommen wie z. B. Grundwasser oder Uferfiltrat stammt. Ist in Ausnahmefällen die gleichzeitige Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 erforderlich, wird auf die Vorschriften H-Sr-89/Sr-90-TWASS-01 und H-Sr-89/Sr-90-AWASS-01 verwiesen.

Diese Methode zur Bestimmung der Sr-90-Aktivitätskonzentration ist auch auf große Probenvolumina sowie calciumreiche, harte Wässer anwendbar.

2 Probeentnahme

Angaben zur Probenauswahl sowie zur Probeentnahme sind den Verfahren H- γ -SPEKT-TWASS-01 sowie H- γ SPEKT-AWASS-01 zu entnehmen.

Nach dem hier beschriebenen Verfahren können – je nach Härte des untersuchten Wassers – bis maximal etwa 300 l Probenvolumen eingesetzt werden.

3 Analytik

3.1 Prinzip der Methode

Das Prinzip der Methode ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Durch den Verzicht auf die Bestimmung von Sr-89 sind Vereinfachungen bei der chemischen Aufbereitung der Probe gegenüber der Methode, bei der Sr-89 und Sr-90 gleichzeitig bestimmt werden, möglich. Insbesondere kann eine Abtrennung des Calciums aus der Probe entfallen. Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 und Y-90 während der Probenbearbeitung.

Die Bestimmung des Sr-90 wird über das Tochternuklid Y-90 ($t_{Y-90} = 2,671$ Tage, $\beta_{\max} = 2,3$ MEV) durchgeführt. Die eingedampfte Probe wird mit Strontium-Träger, Sr-85-Tracer zur Bestimmung der chemischen Ausbeute sowie mit überschüssigem Natriumcarbonat versetzt, um Strontium (und weitere Ionen) in Carbonate zu überführen. Falls erforderlich, werden Eisen und weitere Elemente als Hydroxide abgetrennt, Barium, Radium und Blei werden als Chromate entfernt. In Spuren noch vorhandene störende Radionuklide, insbesondere natürliche Nuklide wie Actinium (Ac-228 u. a.) werden zusammen mit Y-90, dem Tochterprodukt des Sr-90, in einer Scavenger-Fällung mittels Eisenhydroxid mitgefällt. Nach definierter Nachbildungszeit wird aus der Sr-90-Lösung unter Zusatz von Yttrium-Träger das neuentstandene Y-90 als Hydroxid abgetrennt und zu einem Oxalatpräparat verarbeitet. Die Messung erfolgt mittels einer Low-Level- β -Meßanordnung. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration erhält man durch Zurückrechnen der Y-90-Aktivitätskonzentration auf den Fällungszeitpunkt.

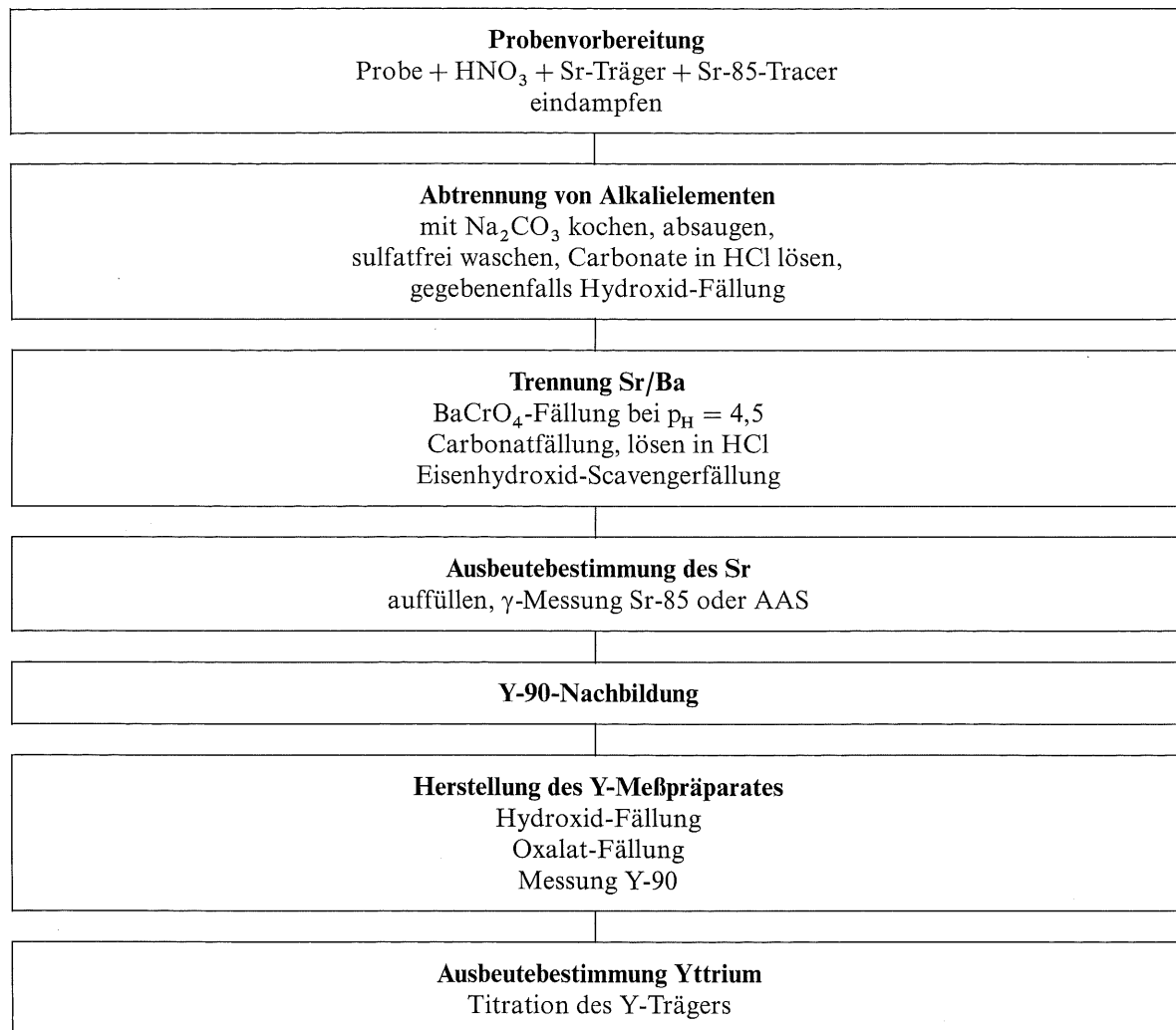


Abb. 1: Prinzip der Bestimmung von Sr-90 im Trinkwasser

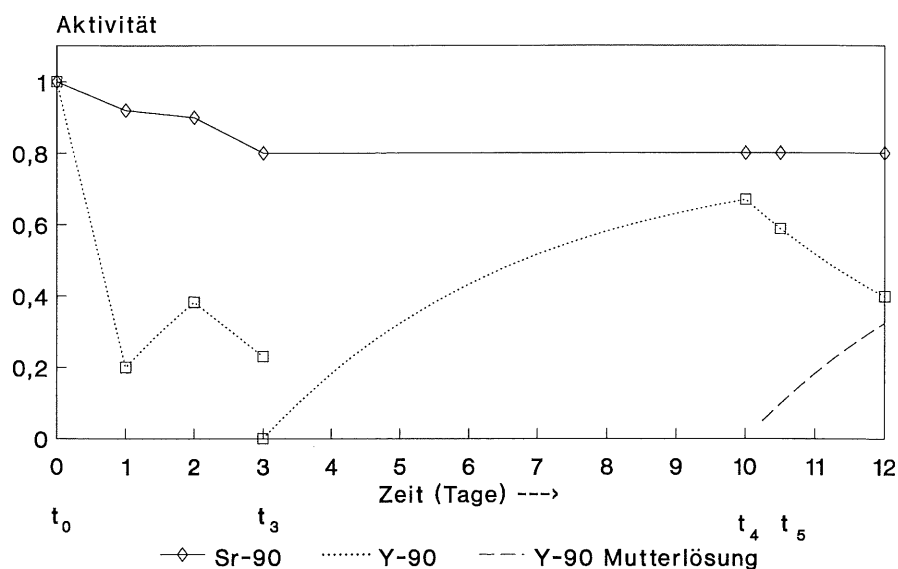


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Sr-90 und Y-90 während der Trennung

Die Bestimmung der chemischen Ausbeute des Strontiums (Sr-85) erfolgt gamma-spektrometrisch. Die Bestimmung der chemischen Ausbeute des Yttriums erfolgt durch komplexometrische Titration.

Anmerkung

Andere Bestimmungsmöglichkeiten der chemischen Ausbeute, z. B. Atom-Absorptions-Spektrometrie oder Flammen-Fotometrie, erfordern bei größeren Probenvolumina und/oder hohen Calcium-Gehalten wegen des natürlichen Gehaltes an inaktivem Strontium stets eine Bestimmung des inaktiven Sr-Gehaltes der Probe vor der Trägerzugabe. Der natürliche Strontiumgehalt liegt meist bei etwa 1,4 % des Calcium-Gehaltes.

3.2 Probenvorbereitung

Angaben zur Probenvorbereitung sind den Vorschriften H- γ -SPEKT-TWASS-01 und H- γ -SPEKT-AWASS-01 zu entnehmen.

3.3 Radiochemische Trennungen

3.3.1 Die eingedampfte Probe wird in einem 1-l Becherglas mit 100 mg Sr, z. B. 10 ml Strontiumnitrat-Trägerlösung, etwa 50 Bq Sr-85-Tracerlösung (siehe Abschnitt 7), etwa dem dreifachen der Probenmasse an Natriumcarbonat und etwa 800 bis 1000 ml dest. Wasser versetzt. Anschließend wird unter Rühren mit aufgesetztem Uhrglas mindestens 5 Stunden bis nahe zum Sieden erhitzt (am besten über Nacht). Der Carbonat-Niederschlag wird auf einer Porzellanfritte abgesaugt und mit heißem dest. Wasser sulfatfrei gewaschen (bis das Waschwasser neutral reagiert). Filtrat und Waschwasser werden verworfen.

3.3.2 Ist der Niederschlag weiß, kann nach Abschnitt 3.3.4 weitergearbeitet werden. – Der Carbonat-Niederschlag wird, wenn er viel Eisen oder sonstige dunkelgefärbten Bestandteile enthält, in möglichst wenig Salzsäure ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) in der Wärme gelöst.

Anmerkung

Beim Lösen ist starkes Schäumen zu erwarten; eventuell ungelöste Bestandteile, z. B. Kieselsäure, stören nicht.

3.3.3 Die Lösung wird im Überschuß mit carbonatfreiem Ammoniak ($13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) versetzt und mit aufgelegtem Uhrglas bis nahe Siedetemperatur erwärmt. Wenn der dunkle Hydroxid-Niederschlag sich zusammengeballt hat, wird er durch ein Faltenfilter abfiltriert und mit heißem dest. Wasser gründlich gewaschen. Waschwasser und Filtrat werden vereinigt, der Niederschlag wird verworfen.

Anmerkung

Um sicherzustellen, daß der Hydroxid-Niederschlag kein Strontium mehr enthält, kann eine γ -Messung durchgeführt werden (Sr-85).

3.3.4 Die Lösung wird unter Rühren solange vorsichtig mit Ammoniumcarbaminatlösung in der Wärme versetzt, bis kein Carbonat mehr ausfällt und der Niederschlag kristallin geworden ist. Die Carbonate werden abgenutscht und mit heißem dest. Wasser gründlich gewaschen.

3.3.5 Der Carbonatniederschlag wird in möglichst wenig warmer Essigsäure ($7 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) gelöst und mit 2 ml Bariumchloridlösung versetzt. Es wird zunächst mit Natronlauge

($2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) auf etwa $p_{\text{H}} = 2$, dann mit Natriumacetatlösung auf genau $p_{\text{H}} = 4,5$ (p_{H} -Meter) eingestellt. Danach werden in der Siedehitze 0,8 ml Natriumchromatlösung zugesetzt. Es wird 5 Minuten gerührt, auf Raumtemperatur abkühlen gelassen und der gelbe Bariumchromat-Niederschlag über Weißbandfilter abfiltriert und verworfen. Das Filtrat wird nochmals mit 2 ml Bariumchloridlösung versetzt und ohne weiteren Zusatz von Chromat 5 Minuten gerührt. Der neuentstandene Niederschlag wird ebenfalls abfiltriert und verworfen.

3.3.6 Zum Filtrat werden ca. 5 ml Ammoniak ($13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) sowie die 1,5fache Menge Natriumcarbonat – bezogen auf das Trockengewicht der Probe – gegeben und es wird unter Rühren bis beinahe Siedetemperatur erwärmt. Der entstandene Niederschlag wird abfiltriert, das Filtrat mit Ammoniumcarbonat-Lösung auf Vollständigkeit der Fällung geprüft. Ist dies der Fall, wird es verworfen, sonst wird es durch das Filter mit der Hauptmenge des Niederschlages erneut filtriert und anschließend verworfen.

3.3.7 Der Rückstand wird in möglichst wenig Salzsäure ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) gelöst, in ein Becherglas überführt und mit 2 bis 3 Tropfen Wasserstoffperoxid ($10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) aufgeköcht (Reduktion des überschüssigen Chromats). Nach Zusatz von 2 ml Eisenchloridlösung ($10 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) und 2 g Ammoniumchlorid wird in der Siedehitze mit carbonatfreier Ammoniaklösung ($13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) Eisenhydroxid ausgefällt. Das Becherglas wird mit einem Uhrglas abgedeckt. Wenn sich der Niederschlag zusammengeballt hat, wird über ein Weißbandfilter filtriert. Der Zeitpunkt der Filtration (t_3) ist der Zeitpunkt der ersten Abtrennung des Y-90 und wird notiert.

3.3.8 Das Filtrat wird mit Salzsäure ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) angesäuert (Methylrot als Indikator) und es werden 10 ml Yttrium-Trägerlösung zugegeben. Die Sr-85-Aktivität dieser Lösung wird mittels γ -Spektrometrie (γ -Energie des Sr-85: 514 keV) gemessen.

Anmerkung

Die Untergrund-Impulsrate der Vernichtungsstrahlung bei 511 keV muß gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Die chemische Ausbeute des Strontiums η_{Sr} wird durch Vergleich mit dem Sr-85-Standard bestimmt, der in der gleichen Meßgeometrie am gleichen Tag auf dem gleichen Meßplatz gemessen wird. Die Meßzeit sollte für die Probe und für den Standard jeweils mindestens 1800 s betragen.

3.3.9 Nach einigen Tagen wird das nachgebildete Y-90 abgetrennt (zur Abschätzung des Bruchteils an nachgebildetem Y-90 vergleiche Tabelle 1). Die Lösung wird in der

Tabelle 1: Einstellung des radiochemischen Gleichgewichtes zwischen Sr-90 und dem Tochternuklid Y-90

f_1	q	Δt (Tage)
0,1	0,15	0,40
0,29	0,5	1,33
0,5	1,0	2,67
0,75	2,0	5,34
0,9	3,3	8,81
0,95	4,3	11,5
0,97	5,06	13,5
0,99	6,64	17,7

f_1 = Aufbaufaktor des Y-90

q = Bruchteile der Halbwertszeit des Y-90 (64 h)

Δt = Zeitdifferenz (Tage) zwischen Yttrium-Abtrennung und Messung

Siedehitze mit carbonatfreier Ammoniaklösung ($13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) versetzt, bis die Yttriumhydroxid-Abscheidung vollständig ist. Der Niederschlag wird über Schwarzbandfilter filtriert, mit dest. Wasser gewaschen und in Salzsäure ($6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) gelöst. Das Filtrat wird zusammen mit dem Waschwasser aufgefangen und kann gegebenenfalls nach weiterer Wartezeit für eine erneute Yttrium-Fällung zur Wiederholungsmessung benutzt werden. Der Zeitpunkt der Filtration (t_4) wird notiert. Die Yttriumhydroxid-Fällung wird wiederholt (Umfällung).

3.3.10 Die salzsaure Lösung des umgefällten Yttriumhydroxid-Niederschlags wird mit Ammoniaklösung ($13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) auf p_H 2 bis 3 eingestellt, mit 4 ml gesättigter Oxalsäurelösung versetzt und erwärmt. Wenn das ausgefallene Yttriumoxalat kristallin geworden ist, wird über ein Blaubandfilter auf der Hahn'schen Nutsche abgesaugt, mit wenig dest. Wasser und mit Aceton gewaschen und in einem Meßschälchen 5 Minuten bei 100°C getrocknet.

3.3.11 Die β -Zählrate des Yttriumpräparates wird mittels einer Low-Level-Meßanordnung bestimmt (siehe Abschnitt 4). Der Zeitpunkt des Beginns der Messung ist t_5 .

3.3.12 Zur Yttrium-Ausbeutebestimmung (η_Y) wird das Yttriumpräparat (mit Filter) möglichst unmittelbar nach der Messung in einem Erlenmeyerkolben in genau 20 ml EDTA-Lösung unter Zusatz von 10 ml Ammoniumchloridpuffer gelöst. Dann wird unkomplexiertes EDTA gegen Eriochromschwarz T auf bleibenden Rotstich zurücktitriert. Der Gehalt der Yttrium-Trägerlösung wird ebenso bestimmt. Durch Titration der EDTA-Lösung (Titer = 1) mit Magnesiumchloridlösung wird deren Titer bestimmt.

4 Messung der Aktivität

Die Messung erfolgt möglichst bald nach der Yttriumoxalat-Fällung im Low-Level-Durchflußzählgerät. Der Zeitpunkt des Meßbeginns ist t_5 . Die Meßzeit richtet sich nach der zu erwartenden Aktivitätskonzentration, sollte jedoch nicht weniger als 120 Minuten betragen.

Der Kalibrierfaktor des Meßgerätes für Y-90-Oxalat ϕ in Abhängigkeit von der Massenbelegung muß bekannt sein. (Der Faktor ϕ entspricht dem Faktor ϕ_3 in der Vorschrift H-Sr-89/Sr-90-AWASS-01). Die Funktion wird mit Präparaten verschiedener Massenbelegung ermittelt, die aus einer Sr-90-Standardlösung mit genau bekannter Aktivitätskonzentration nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt wurden.

Anmerkung

In der Praxis liegt die Yttrium-Ausbeute meist zwischen 95 und 98 %, so daß eine entsprechende Kalibrierung mit einem Präparat mit einer der Probe entsprechenden Massenbelegung genügt (siehe auch H-Sr-89/Sr-90-AWASS-01, Abschnitt 4).

5 Berechnung der Analyseergebnisse

Der zur Berechnung des Ergebnisses erforderliche Rechengang ist gegenüber dem Rechengang, der bei gleichzeitiger Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 in Verfahren H-Sr-89/Sr-90-AWASS-01 beschrieben ist, wesentlich einfacher.

Das Verfahren zur Berechnung der Aktivitätskonzentration wird in Abb. 2 verdeutlicht. Im Zeitraum zwischen Analysenbeginn (t_0) und der zweiten Scavenger-Fällung (t_3) nimmt die Aktivität des Sr-90 ab, bedingt durch nicht 100 %ige chemische Ausbeute. Die

zum Zeitpunkt t_0 im Gleichgewicht mit Sr-90 befindliche Aktivität des Y-90 – sie ist während des chemischen Trennungsganges undefiniert – hat nach der zweiten Scavenger-Fällung zum Zeitpunkt t_3 den Wert Null. In der Sr-90-Mutterlösung wächst in der Aufbauzeit bis zum Zeitpunkt der Herstellung des Meßpräparates (t_4) das Y-90 auf einen bekannten Bruchteil der Sr-90-Aktivität an. Während der Zeit zwischen Präparation und Meßbeginn (t_5) klingt die Y-90-Aktivität wiederum ab. In der Sr-90-haltigen Lösung wächst vom Zeitpunkt t_4 an das Y-90 entsprechend wieder nach.

Die Berechnung der Aktivitätskonzentration c des Sr-90 in der Wasserprobe erfolgt nach der Gleichung (1):

$$c = \frac{(R_b - R_o) \cdot \varphi}{V \cdot \eta_{Sr} \cdot \eta_Y \cdot f_1 \cdot f_2} \quad (1)$$

wobei bedeuten:

V = eingesetztes Probenvolumen in l

φ = Kalibrierfaktor des Yttriumoxalats in Bq · s

R_o = Nulleffekt-Zählrate in s^{-1}

R_b = Bruttozählrate des Yttriumoxalats in s^{-1}

η_{Sr} = chemische Ausbeute des Strontiums, siehe Gleichung (2)

η_Y = chemische Ausbeute des Yttriums, siehe Gleichung (3)

f_1 = Aufbaufaktor des Y-90, siehe Gleichung (4)

f_2 = Abklingfaktor des Y-90, siehe Gleichung (5)

Für die chemische Ausbeute des Strontiums gilt Gleichung (2):

$$\eta_{Sr} = \frac{R_{Pr} - R_{o\gamma}}{R_{St} - R_{o\gamma}} \quad (2)$$

mit: R_{Pr} = γ -Impulsrate des Sr-85 der Probe in s^{-1}

R_{St} = γ -Impulsrate des Sr-85 des Standards in s^{-1}

$R_{o\gamma}$ = γ -Nulleffektimpulsrate im Energiebereich des Sr-85 in s^{-1}

Für die chemische Ausbeute des Yttriums η_Y gilt Gleichung (3):

$$\eta_Y = \frac{20 - V_{Pr}}{20 - V_{Tr}} \quad (3)$$

mit: V_{Pr} = titriertes Volumen für die Probe in ml

V_{Tr} = titriertes Volumen für den Träger in ml.

Für den Aufbaufaktor f_1 des Y-90 gilt Gleichung (4):

$$f_1 = 1 - \exp[-\lambda_{Y-90} \cdot (t_4 - t_3)] \quad (4)$$

mit: t_3 = Zeitpunkt der ersten Fe(Y)-Fällung

t_4 = Zeitpunkt der zweiten Yttrium-Fällung

λ_{Y-90} = Zerfallskonstante des Y-90 in s^{-1} .

Für den Abklingfaktor f_2 des Y-90 im Oxalatpräparat, auf den mittleren Zeitpunkt der Messung bezogen, gilt Gleichung (5):

$$f_2 = \exp [-\lambda_{Y-90} \cdot (t_5 - t_4 + t_m/2)] \quad (5)$$

mit: t_5 = Zeitpunkt des Beginns der Messung

t_m = Meßzeit in s.

5.1 Rechenbeispiel

Mit den Zahlenwerten

V	= 1201	
R _b	= 0,1806 s ⁻¹	
R ₀	= 0,0048 s ⁻¹	
t _m	= 61 200 s (1020 m)	
φ	= 4,71 Bq · s	
t ₃	= 6.7.88 12:48	
t ₄	= 5.8.88 12:16	t ₄ - t ₃ = 2,59 · 10 ⁶ s
t ₅	= 5.8.88 14:49	t ₅ - t ₄ = 3,98 · 10 ⁴ s
f ₁	= 0,9996	f ₂ = 0,8873
V _{Pr}	= 3,30 ml	
V _{Tr}	= 2,70 ml	η _Y = 0,965 (96,5%)
R _{oy}	= 0,034 s ⁻¹	
R _{St}	= 10,864 s ⁻¹	
R _{Pr}	= 9,344 s	η _{Sr} = 0,860 (86,0%)
λ _{Y-90}	= 3,01 · 10 ⁻⁶ s ⁻¹	

erhält man für die Aktivitätskonzentration c des Sr-90 einer Trinkwasserprobe:

$$c = 0,0094 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

5.2 Fehlerbetrachtung

Zur Fehlerbetrachtung wird auf das Kapitel IV.5 dieser Meßanleitungen und das darin aufgeführte Rechenbeispiel sowie auf die Vorschriften H-Sr-90/Sr-90-AWASS-01, Abschnitt 5.2, verwiesen. Bei der Berechnung der Standardabweichungen werden die Fehler der Auf- und Abklingfaktoren sowie des Probenvolumens als klein gegenüber anderen Fehlern angenommen und vernachlässigt. Fehler der Bestimmung der chemischen Ausbeute müssen unter Umständen berücksichtigt werden.

Zusätzliche systematische Fehlerquellen können mitgefällte Radionuklide sein, die im Trennungsgang nicht abgetrennt wurden, beispielsweise Ba/La-140, Ce-141, Ce-144 und Tochternuklide der natürlichen Ra-228- und Ra-226-Zerfallsreihen. Daneben kann bei Verwendung nicht carbonatfreien Ammoniaks bei der Yttrium-Fällung auch Sr-90 aus der Mutterlösung mitausfallen und einen zu hohen Sr-90-Wert vortäuschen.

Besteht Verdacht auf systematische Fehler, so sollte die Messung des Yttriumoxalat-Präparates im Abstand von etwa 3 Tagen wiederholt werden (Zerfallskontrolle). Eine wiederholte Yttrium-Fällung kann weitere Hinweise liefern, ebenso eine γ-spektrometrische Messung.

6 Nachweisgrenze des Verfahrens

Zur Berechnung der Nachweisgrenze G der Aktivität des Präparates wird auf das Kapitel IV.5, Abschnitte 4.4, 6.2 und 6.3 verwiesen.

Für die Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration g gilt Gleichung (6):

$$g = \frac{G}{V \cdot \eta_{\text{Sr}} \cdot \eta_{\text{Y}} \cdot f_1 \cdot f_2} \quad (6)$$

Mit den obengenannten Zahlenwerten erhält man eine Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration des Sr-90 von:

$$g = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \quad (0,1 \text{ mBq} \cdot \text{l}^{-1})$$

In der Praxis können Nachweisgrenzen von $1 \text{ mBq} \cdot \text{l}^{-1}$ und darunter erreicht werden. Um eine Nachweisgrenze von $10 \text{ mBq} \cdot \text{l}^{-1}$ zu erreichen, genügt unter sonst gleichen Bedingungen ein Probenvolumen von 1 bis 21.

7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

7.1 Chemikalien

Nach Möglichkeit sollten analysenreine Chemikalien verwendet werden:

- Aceton, $\text{CH}_3 \cdot \text{CO} \cdot \text{CH}_3$
- Ammoniak, carbonatfrei, NH_3 [+ $\text{Ba}(\text{OH})_2$]: $13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Ammoniumcarbaminat-Lösung, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$: bei 20°C gesättigt
- Ammoniumchlorid-Pufferlösung, $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$: pH-Wert = 10
- Bariumchloridlösung: $10 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ Ba}^{2+}$ ($17,78 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ BaCl}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$)
- Eisenchloridlösung: $10 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ Fe}^{3+}$ ($48,4 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ FeCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$)
- Eriochromschwarz T: 2% ige Lösung in Ethanol
- Essigsäure, CH_3COOH : $9 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- Ethylendiamin-Tetraacetat-Lösung (EDTA-Dinatriumsalz):
 $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($7,4448 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)
- Magnesiumchloridlösung: $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($4,0662 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ MgCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$)
- Methylrot: 2% ige Lösung in Ethanol
- Natriumacetatlösung: $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($402,2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ CH}_3\text{COONa} \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$)
- Natriumcarbonat, Na_2CO_3 , wasserfrei
- Natriumchromatlösung: $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($161,97 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Na}_2\text{CrO}_4$)
- Natronlauge, NaOH : $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Oxalsäure, $(\text{COOH})_2$: bei 20°C gesättigte Lösung
- Salzsäure, HCl : $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Sr-85-Tracerlösung: ca. $500 \text{ Bq} \cdot \text{ml}^{-1}$ (z. B. Amersham, Braunschweig)
- Strontiumnitratlösung: $10 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ Sr}^{2+}$ ($24,15 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Sr}(\text{NO}_3)_2$)
- Wasserstoffperoxid, H_2O_2 : $10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Yttriumchloridlösung: $3 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ Y}^{3+}$ ($10,30 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \text{ YCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$)

7.2 Geräte

- Low-Level- β -Meßplatz (Gasdurchflußzählgerät mit Antikoinzidenz-Abschirmung)
- Eindampfvorrichtung zum Verarbeiten großer Probenvolumina (vergleiche Verfahren H- γ -SPEKT-TWASS-01)
- übliche Ausrüstung eines radiochemischen Labors

Literatur

- (1) Aurand, K. u. a.: Radiochemische Methoden zur Bestimmung von Radionukliden: Sr-89 und Sr-90, Schriftenreihe des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft, 10 (1959)
- (2) Caddad, E. and Zikovsky, L.: Determination of Strontium 90 in the Water of Quebec Lakes and Rivers by a Precipitation Method, Canadian Journal of Chemistry 66 (1988), S. 174 ff.
- (3) Defelice, P., et al.: Activity Measurements of Sr-90 and Cs-137 in Spiked Solutions of Milk – Results of a National Intercomparison in Italy, The Science of the Total Environment 69 (1988), S. 29–42
- (4) Gans, I. und J. Arndt: Die Verteilung der langlebigen Spaltprodukte Strontium 90 und Cäsium 137 des Kernwaffen-Fallouts im Boden, Bericht Institut für WaBoLu-Hygiene des BGA, (1987), Eigenverlag, Berlin, 57 S.
- (5) Jackson, R. E. and Inch, K. J.: The In Situ Adsorption of Sr-90 in A Sand Aquifer at the Chalk River Nuclear Laboratories, Journal of Contaminations in the Hydrology 4 (1989), S. 27 ff.
- (6) Juznic, K.: Recent Levels of Sr-90 Activity in the Environment of the Krsko Nuclear Power Plant, Journal of Environmental Radioactivity 11 (1990), S. 169–176
- (7) Kramer, G. H. and J. M. Davies: Isolation of Sr-90, Y-90, Pm-147 and Ce-144 from wet-ashed Urine by Calcium-oxalate Coprecipitation and sequential Solvent-Extraction, Analytical Chemistry 54 (1981), S. 1428 ff.
- (8) Krieger, H. L. and S. Gold: Procedures for Radiochemical Analysis of Nuclear Reactor Aqueous Solutions, Environmental Monitoring Series EPA-R4-73-014 (1973), S. 108 ff.
- (9) Montag, A.: Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 in Lebensmitteln durch Erdalkalisulfat-Trennung, Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung 127, (1965), S. 121 ff.
- (10) Mundschenk, H.: Zur Anreicherung und Bestimmung geringer Gehalte von Sr-89 und Sr-90 in Wasserproben, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 3 (1979), S. 64 ff.
- (11) Szabo, G. et al.: Preparation of 8-hydroxyguinoline substituted silicagel for determination of strontium-90 from natural water, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 111 (1987), S. 441–448
- (12) Tait, D., et al.: A Fast Method for Isolating Sr-Radioisotopes from Raw Milk, Milchwissenschaft 44 (1989), S. 765 ff.
- (13) Volchok, H. L. and G. de Planque: Radiochemical Determination of Sr-90, E-Sr-01-01 bis E-Sr-05-01, EML-Procedures Manual (HASL-300) (1983) und (1991)
- (14) Wilken, R. D.: Methoden zur Schnellbestimmung von Sr-89, Sr-90 und Y-90 in Umweltproben (Literaturübersicht), Forschungszentrum Geesthacht GmbH (GKSS) Sonderdruck (1988), S. 1 ff.
- (15) Wilken, R. D. and R. Diehl: Strontium-90 and Caesium-137 in the Elbe River Before and After the Chernobyl Accident, Vom Wasser 72 (1989), VCH Verlagsges., ISBN: 3-527-27838-9