

**Verfahren zur Bestimmung  
von Strontium-89/Strontium-90 in Milch  
bei erhöhter Freisetzung von Radionukliden  
(verkürzte Salpetersäuremethode)**

F-Sr-89/Sr-90-MILCH-01

Bearbeiter:

A. Wiechen  
D. Tait

Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und  
Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft

ISSN 1865-8725

Version September 1992

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

# **6 Verfahren zur Bestimmung von Strontium-89/ Strontium-90 in Milch bei erhöhter Freisetzung von Radionukliden (verkürzte Salpetersäuremethode)**

## **1 Anwendbarkeit**

Das nachstehend beschriebene Verfahren ist dann einzusetzen, wenn die Deposition höherer Aktivitäten nach Kernwaffenversuchen oder nach Unfällen in kerntechnischen Anlagen eine hohe Kontamination der Milch zur Folge haben kann. Es soll dazu dienen, relativ schnell einen Überblick über das Ausmaß einer eventuellen Kontamination der Milch mit Sr-89 und Sr-90 zu gewinnen.

## **2 Probeentnahme**

Bei der Probeentnahme und weiteren Probenbehandlung sind im Fall erhöhter Aktivitätskonzentrationen besondere Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, damit keine Aktivitäten verschleppt und Laboratorien und Meßgeräte kontaminiert werden.

Es werden jeweils Milchproben von etwa 2 l entnommen. Im übrigen gelten die Hinweise zur Probeentnahme unter F- $\gamma$ -SPEKT-MILCH-01 und F- $\gamma$ -SPEKT-MILCH-02 sinngemäß.

## **3 Analytik**

### **3.1 Prinzip der Methode**

Im Gegensatz zu den Verfahren F-Sr-90-MILCH-01 und -02 ist die Frischmilch und nicht die Milchasche Ausgangsmaterial für die radiochemische Trennung. Ansonsten wird im Prinzip nach dem Trennungsschema von Verfahren F-Sr-90-MILCH-01 gearbeitet, mit dem Unterschied, daß wegen der geringeren Calcium-Menge nur eine Salpetersäurerührung durchzuführen ist. Die Methode führt bereits am ersten Tag zu einem SrCO<sub>3</sub>-Präparat, dessen Gesamtaktivität an Sr-89 und Sr-90 gemessen werden kann. Damit erhält man einen ersten Anhaltspunkt über das Ausmaß der Kontamination. Nach 3–4 Tagen kann das Y-90 abgetrennt und gemessen werden. Danach erfolgt die Berechnung des Gehaltes an Sr-89 und Sr-90.

### **3.2 Probenvorbereitung**

Eine besondere Probenvorbereitung ist nicht erforderlich, da die Sr-Radioisotope direkt aus der flüssigen Milchprobe abgetrennt werden.

### 3.3 Radiochemische Trennung

**3.3.1** In ein 250 ml-Zentrifugenglas gibt man 100 ml der Milchprobe, 10 ml Strontium-Trägerlösung, 1 ml Barium-Trägerlösung, 5 ml Sr-85-Lösung entsprechend 30 Bq und unter Rühren 100 ml Trichloressigsäure (24 Gew. %), rührt 15 Minuten, zentrifugiert und filtriert in ein weiteres 250 ml-Zentrifugenglas.

**3.3.2** Das Filtrat wird mit 25 %iger Ammoniaklösung ( $13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) alkalisch gemacht, mit festem Ammoniumcarbamat versetzt und in einem siedenden Wasserbad erhitzt, um den Carbonatniederschlag zu koagulieren. Man zentrifugiert und verwirft die überstehende Flüssigkeit.

**3.3.3** Man fügt dem Niederschlag 10 ml dest. Wasser hinzu und löst ihn mit 22,5 ml rauchender Salpetersäure ( $23 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (Vorsicht!). Unter Kühlung mit Eiswasser wird 30 Minuten gerührt, dann zentrifugiert und die überstehende Lösung verworfen.

**3.3.4** Der Niederschlag wird in 10 bis 15 ml dest. Wasser gelöst. Man fügt 1 ml Barium-Trägerlösung sowie einige Tropfen Methylrot hinzu und neutralisiert mit verd. Ammoniak ( $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Dann werden 1 ml verd. Essigsäure ( $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) und 2 ml Ammoniumacetatlösung (25 Gew. %) zugesetzt, auf 30 ml verdünnt und in siedendem Wasserbad erhitzt.

Man gibt 1 ml Natriumchromatlösung (30 Gew. %) hinzu und erhitzt weitere 5 Minuten, zentrifugiert und filtriert schließlich die überstehende Flüssigkeit durch ein Schwarzbandfilter in ein zweites Zentrifugenglas. Es darf nicht mit dest. Wasser nachgespült werden.

**3.3.5** Das Filtrat wird mit konz. Ammoniaklösung ( $13 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) alkalisch gemacht, festes Ammoniumcarbamat zugesetzt und im kochenden Wasserbad erhitzt, um den Carbonatniederschlag zu koagulieren. Nach Zentrifugieren wird die überstehende Lösung verworfen.

**3.3.6** Der Niederschlag wird durch tropfenweisen Zusatz von verd. Salpetersäure ( $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) gelöst, 1 Tropfen Wasserstoffperoxid (Perhydrol) (30 Gew. %) und 1 ml Eisen-Trägerlösung zugegeben. Durch Erhitzen und Rühren treibt man den Sauerstoff aus, verdünnt auf 15–20 ml und macht mit carbonatfreier Ammoniaklösung ( $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) so weit alkalisch, bis Eisenhydroxid ausfällt (Zeit notieren). Es wird 2 bis 4 Minuten bis zu vollständigen Fällung erhitzt. Dann filtriert man die überstehende Flüssigkeit unter Nachspülen mit dest. Wasser in ein 40 ml-Zentrifugenglas.

**3.3.7** Zum Filtrat gibt man festes Ammoniumcarbamat, erhitzt im Wasserbad, um den Niederschlag zu koagulieren und filtriert durch ein 3 cm-Blaubandfilter (Hahn'sche Nutsche). Der Niederschlag wird mit wenig Wasser und Methanol gewaschen. Das so erhaltene Präparat wird mit Mylar-Folie abgedeckt und mittels eines Kunststoffringes auf ein rundes Kunststoffteil aufgeblockt. Anschließend wird mit einem  $\beta$ -Antikoinzidenzzähler die Summe der  $\beta$ -Aktivitäten von Sr-89, Sr-90 und des zugesetzten Sr-85 gemessen.

**3.3.8** Der Niederschlag des Präparates wird vorsichtig in eine 100 ml-Polyethylenflasche überführt. Reste des Niederschlages am Filter oder an der Mylar-Folie werden in 2 ml HCl ( $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) gelöst und mit 20 ml dest. Wasser (Meßzylinder) in die Polyethylenflasche gespült. Man gibt 1 ml Yttrium-Trägerlösung hinzu und mißt das Sr-85 mit einem Gammaskpektrometer zur Ausbeutebestimmung des Strontiums. Zur Bestimmung der Strontium-Ausbeute werden zu Beginn der Analyse 2 Standards hergestellt. Man pipet-

tiert 5 ml der Sr-85-Lösung in eine 100 ml-Polyethylenflasche und gibt 10 ml Strontium-Trägerlösung und 10 ml dest. Wasser hinzu. Diese Standards werden zusammen mit den obigen Lösungen gemessen.

*Berechnung der Strontium-Ausbeute:*

$$\eta_{\text{Sr}} = \frac{\text{Nettoimpulszahl der Probe} \cdot 100}{\text{Nettoimpulszahl des Standards}} \%$$

Die Sr-85-Nettoimpulszahl der Probe wird auch zur Korrektur der  $\beta$ -Aktivitätsmessung benutzt.

**3.3.9** Anschließend wird die Lösung zur Nachbildung von Y-90 3 bis 4 Tage stehen gelassen. Die Abtrennung und Ausbeutebestimmung von Yttrium erfolgt dann wie bei Verfahren F-Sr-90-MILCH-01 beschrieben.

## 4 Messung der Aktivität

Die Messung des  $\text{SrCO}_3$ -Präparates erfolgt unmittelbar nach der Fällung, so daß die Nachbildung von Y-90 vernachlässigt werden kann. Sowohl die Messung des  $\text{SrCO}_3$ -Präparates (siehe Abschnitt 3.3, Punkt 3.3.7) als auch des Yttrium-Oxalatpräparates (siehe Abschnitt 3.3, Punkt 3.3.9 und Verfahren F-Sr-90-MILCH-01) werden mit einem Low-Level- $\beta$ -Antikoinzidenzzähler mit einer Nulleffektzählrate von  $< 0,008 \text{ s}^{-1}$  durchgeführt. Die Meßzeit muß den Aktivitäten des Präparates angepaßt werden. Da diese Methode überwiegend bei erhöhten Kontaminationen eingesetzt wird, sollten die Meßzeiten für das  $\text{SrCO}_3$ -Präparat  $6 \cdot 10^3 \text{ s}$  (100 Minuten) und für das Yttrium-Oxalatpräparat  $2,16 \cdot 10^4 \text{ s}$  (6 Stunden) nicht überschreiten.

Das Sr-85 in der Probe sowie die entsprechenden, zu Beginn der Analyse vorbereiteten Sr-85-Standards und Untergrundpräparate (siehe Abschnitt 3.3, Punkt 3.3.8) werden mit einem Germanium- oder NaI(Tl)-Detektor, der an ein Vielkanal- oder Einkanalspektrometer angeschlossen ist,  $2 \cdot 10^3 \text{ s}$  gemessen.

Der Faktor der Umrechnung der Nettozählrate der Sr-85-Gammamessung in die entsprechende Nettozählrate der Beta-Messung des  $\text{SrCO}_3$ -Präparates wird durch Messungen definierter Aktivitäten an Sr-85 im Gammaskpektrometer und im Beta-Meßplatz unter den Bedingungen der Analyse bestimmt. Da Sr-85 kein Beta-Emitter ist, sondern durch K-Einfang zerfällt, ist die Zählhausbeute im Beta-Meßgerät klein. Die von Sr-89 und Sr-90 erhaltenen Zählraten sind dagegen bei Anwendung dieser Methode in der Regel sehr hoch, so daß der Sr-85-Anteil an der Gesamtzählrate häufig vernachlässigt werden kann.

Die Kalibrierfaktoren für Sr-89 und Sr-90 sind wegen der relativ geringen Beta-Energie der entsprechenden Radionuklide von der Selbstabsorption im  $\text{SrCO}_3$ -Präparat abhängig. Man muß daher für jedes Radionuklid einzeln mit definierten Aktivitäten und steigenden Mengen inaktiven Strontiums  $\text{SrCO}_3$ -Präparate herstellen, die Kalibrierfaktoren für Sr-89 und Sr-90 in Abhängigkeit von der Strontiummenge messen und als Kalibrierkurve darstellen. Die Mengen an inaktivem Strontium müssen dabei so gewählt werden, daß sie dem Bereich der bei den Analysen zu erwartenden Strontium-Ausbeuten entsprechen.

## 5 Berechnung der Analyseergebnisse

Die Berechnung der Sr-90-Aktivitätskonzentration in Bq pro Liter Milch erfolgt nach der Gleichung:

$$c_{\text{Sr-90}} = \frac{f(t_1) \cdot f(t_2) \cdot f(t_3) \cdot \varphi_{\text{Y-90}} \cdot R_{\text{Y-90}}}{\eta_{\text{Sr}} \cdot \eta_{\text{Y}} \cdot V} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Die Sr-89-Aktivitätskonzentration in Bq pro Liter Milch erhält man aus der Gleichung:

$$c_{\text{Sr-89}} = \left[ \frac{1}{\eta_{\text{Sr}} \cdot V} \cdot (R_c - \omega_{\text{Sr-85}} \cdot R_{\text{Sr-85}}) - \frac{c_{\text{Sr-90}}}{\varphi_{\text{Sr-90}}} \right] \cdot \varphi_{\text{Sr-89}} \cdot f(t_A) \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Bei dieser Gleichung wird vorausgesetzt, daß das SrCO<sub>3</sub>-Präparat unmittelbar nach der Fällung gemessen wird und die Meßzeit kurz ist, so daß die Y-90-Nachbildung vor und während der Meßzeit vernachlässigt werden kann.

Darin bedeuten:

$c_{\text{Sr-90}}$  = Sr-90-Aktivitätskonzentration in Bq · l<sup>-1</sup>

$c_{\text{Sr-89}}$  = Sr-89-Aktivitätskonzentration in Bq · l<sup>-1</sup>

$R_c$  = Nettozählrate des SrCO<sub>3</sub>-Präparates im Beta-Meßgerät in s<sup>-1</sup>  
(Summe der Aktivitäten: Sr-89, Sr-90, Sr-85)

$R_{\text{Y-90}}$  = Nettozählrate des Y-90 im Yttrium-Oxalatpräparat in s<sup>-1</sup>

$R_{\text{Sr-85}}$  = Nettozählrate des Sr-85, gemessen mit dem Gammaskpektrometer in s<sup>-1</sup>

$\varphi_{\text{Y-90}}$  = aktivitätsbezogener Kalibrierfaktor für Y-90 im Yttrium-Oxalatpräparat in Bq · s

$\varphi_{\text{Sr-90}}$  = aktivitätsbezogener Kalibrierfaktor für Sr-90 im SrCO<sub>3</sub>-Präparat in Bq · s

$\varphi_{\text{Sr-89}}$  = aktivitätsbezogener Kalibrierfaktor für Sr-89 im SrCO<sub>3</sub>-Präparat in Bq · s

$\eta_{\text{Sr}}$  = chemische Ausbeute für Strontium

$\eta_{\text{Y}}$  = chemische Ausbeute für Yttrium

$V$  = eingesetztes Probenvolumen in l

$\omega_{\text{Sr-85}}$  = Faktor zur Umrechnung der Nettozählrate der Sr-85-Gammamessung in die entsprechende Nettozählrate im SrCO<sub>3</sub>-Präparat mit dem Beta-Meßgerät

$t_A$  = Zeitspanne zwischen Probeentnahme und Beginn der Analyse in s

$t_1$  = Zeitspanne der Sr-90/Y-90-Gleichgewichtseinstellung (Zeitintervall zwischen Eisenfällung und erneuter Yttrium-Abtrennung für die Messung) in s

$t_2$  = Zeitspanne zwischen Yttrium-Abtrennung und Meßbeginn des Yttrium-Oxalatpräparates in s

$t_3$  = Meßzeit des Yttrium-Oxalatpräparates in s

$$f(t_1) = \frac{\lambda_{\text{Y-90}} - \lambda_{\text{Sr-90}}}{\lambda_{\text{Y-90}} (e^{-\lambda_{\text{Sr-90}} \cdot t_1} - e^{-\lambda_{\text{Y-90}} \cdot t_1})}$$

Funktion für die Sr-90/Y-90-Gleichgewichtseinstellung (Nachbildung des Y-90 nach Eisenfällung)

$$f(t_2) = e^{+\lambda_{\text{Y-90}} \cdot t_2}$$

Faktor für das Abklingen in der Zeitspanne zwischen Yttrium-Abtrennung und Meßbeginn

$$f(t_3) = \frac{\lambda_{Y-90} \cdot t_3}{1 - e^{-\lambda_{Y-90} \cdot t_3}}$$

Faktor für das Abklingen des Y-90 während der Meßzeit  $t_3$

$$f(t_A) = e^{+\lambda_{Sr-89} \cdot t_A}$$

Faktor für das Abklingen des Sr-89 in der Zeitspanne zwischen Probeentnahme und Beginn der Analyse

$$\lambda_{Sr-89} = \text{Zerfallskonstante des Sr-89 in s}^{-1}$$

$$\lambda_{Sr-89} = \ln 2 / t_{Sr-89}$$

$$t_{Sr-89} = \text{Halbwertszeit von Sr-89 in s}$$

$$\lambda_{Sr-90} = \text{Zerfallskonstante des Sr-90 in s}^{-1}$$

$$\lambda_{Sr-90} = \ln 2 / t_{Sr-90}$$

$$t_{Sr-90} = \text{Halbwertszeit von Sr-90 in s}$$

$$\lambda_{Y-90} = \text{Zerfallskonstante des Y-90 in s}^{-1}$$

$$\lambda_{Y-90} = \ln 2 / t_{Y-90}$$

$$t_{Y-90} = \text{Halbwertszeit von Y-90 in s}$$

Die Standardabweichung  $s_{Sr-90}$  der Probenaktivitätskonzentration  $c_{Sr-90}$  kann nach der Gleichung:

$$s_{Sr-90} = \frac{f(t_1) \cdot f(t_2) \cdot f(t_3) \cdot \varphi_{Y-90} \cdot s(R_{Y-90})}{\eta_{Sr} \cdot \eta_{Y} \cdot V} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

berechnet werden (siehe auch Verfahren F-Sr-90-MILCH-01).

Für die Standardabweichung  $s_{Sr-89}$  der Probenaktivitätskonzentration  $c_{Sr-89}$  bezogen auf den Zeitpunkt der Probeentnahme gilt nach Kapitel IV.5, Unterkapitel 4.4, Gleichung 4.17 dieser Meßanleitungen:

$$s_{Sr-89} = \frac{f(t_A) \cdot \varphi_{Sr-89}}{\eta_{Sr} \cdot V} \cdot \sqrt{s^2(R_c) + [\omega_{Sr-90} \cdot s(R_{Y-90})]^2 + [\omega_{Sr-85} \cdot s(R_{Sr-85})]^2} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Darin bedeuten:

$$s_{Sr-90} = \text{Standardabweichung der Sr-90-Probenaktivitätskonzentration in Bq} \cdot \text{l}^{-1} \\ \text{(Korrektur auf das Probeentnahmedatum nicht erforderlich)}$$

$$s_{Sr-89} = \text{Standardabweichung der Sr-89-Probenaktivitätskonzentration in Bq} \cdot \text{l}^{-1} \\ \text{zum Zeitpunkt der Probeentnahme}$$

$$s(R_c) = \text{Standardabweichung der Nettozählrate des SrCO}_3\text{-Präparates in s}^{-1}$$

$$s(R_{Y-90}) = \text{Standardabweichung der Nettozählrate des Yttrium-Oxalatpräparates in s}^{-1}$$

$$s(R_{Sr-85}) = \text{Standardabweichung der Nettozählrate des Sr-85 im Gamma-Spektrometer in s}^{-1}$$

$$\omega_{Sr-90} = \frac{\varphi_{Y-90} \cdot f(t_1) \cdot f(t_2) \cdot f(t_3)}{\eta_{Y} \cdot \varphi_{Sr-90}}$$

Umrechnungsfaktor für die Y-90-Zählrate im Yttrium-Oxalatpräparat in die korrespondierende Sr-90-Zählrate im SrCO<sub>3</sub>-Präparat

Als Ergebnis werden stets die Probenaktivitätskonzentrationen und deren Standardabweichungen bezogen auf den Zeitpunkt der Probeentnahme angegeben ( $c \pm s$ ).

## 5.1 Rechenbeispiel

$$\begin{array}{ll}
 R_c &= 4,975 \text{ s}^{-1} & t_A &= 8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \\
 R_{\text{Sr-85}} &= 1,193 \text{ s}^{-1} & t_1 &= 2,99 \cdot 10^5 \text{ s} \\
 R_{\text{Y-90}} &= 5,975 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1} & t_2 &= 5,28 \cdot 10^3 \text{ s} \\
 \varphi_{\text{Y-90}} &= 2,187 \text{ Bq} \cdot \text{s} & t_3 &= 1,88 \cdot 10^4 \text{ s} \\
 \varphi_{\text{Sr-90}} &= 5,929 \text{ Bq} \cdot \text{s} & f(t_A) &= 1,014 \\
 \varphi_{\text{Sr-89}} &= 2,640 \text{ Bq} \cdot \text{s} & f(t_1) &= 1,701 \\
 \eta_{\text{Sr}} &= 0,514 & f(t_2) &= 1,016 \\
 \eta_{\text{Y}} &= 0,945 & f(t_3) &= 1,028 \\
 V &= 0,11 & \omega_{\text{Sr-85}} &= 0,032
 \end{array}$$

$$c_{\text{Sr-90}} = \frac{1,701 \cdot 1,016 \cdot 1,028 \cdot 2,187 \cdot 5,975 \cdot 10^{-1}}{0,514 \cdot 0,945 \cdot 0,1}$$

$$c_{\text{Sr-90}} = 47,8 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$c_{\text{Sr-89}} = \left[ \frac{1}{0,514 \cdot 0,1} (4,975 - 0,032 \cdot 1,193) - \frac{47,8}{5,929} \right] \cdot 2,640 \cdot 1,014$$

$$c_{\text{Sr-89}} = 235,5 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$s(R_c) = 5,25 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$s(R_{\text{Y-90}}) = 1,78 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$s(R_{\text{Sr-85}}) = 3,43 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_{\text{Sr-90}} = \frac{2,187 \cdot 1,701 \cdot 1,016 \cdot 1,028}{0,945 \cdot 5,929} = 0,6935$$

$$s_{\text{Sr-90}} = \frac{1,701 \cdot 1,016 \cdot 1,028 \cdot 2,187 \cdot 1,78 \cdot 10^{-2}}{0,514 \cdot 0,945 \cdot 0,1} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$s_{\text{Sr-90}} = 1,4 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$s_{\text{Sr-89}} = \frac{1,014 \cdot 2,640}{0,514 \cdot 0,1}$$

$$\cdot \sqrt{(5,25 \cdot 10^{-2})^2 + (0,6935 \cdot 1,78 \cdot 10^{-2})^2 + (0,032 \cdot 3,43 \cdot 10^{-2})^2} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$s_{\text{Sr-89}} = 2,8 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Die Probenaktivitätskonzentrationen betragen nach diesem Beispiel:

$$c_{\text{Sr-90}} = 47,8 \pm 1,4 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$c_{\text{Sr-89}} = 236 \pm 3 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

## 5.2 Fehlerbetrachtung

Zum Gesamtfehler des Verfahrens kann nur schwierig eine allgemeingültige Aussage getroffen werden, da dieser von der absoluten Höhe der Aktivitätskonzentrationen, dem Verhältnis der Aktivitätskonzentration beider Radionuklide, der Zählzeit, der Güte der radiochemischen Trennung und damit von der Erfahrung des Laborpersonals abhängig

ist. Die Ergebnisse von Ringanalysen haben gezeigt, daß Sr-90-Gehalte von einigen  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  mit einem Fehler von etwa 10 % und Sr-89-Gehalte von einigen hundert  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  mit einem Fehler von ca. 20 % nebeneinander bestimmt werden können.

## 6 Nachweisgrenzen des Verfahrens

Die Nachweisgrenzen kann man für Sr-90 in Anlehnung an Verfahren F-Sr-90-MILCH-01 berechnen. Da man bei der Analytik im vorliegenden Fall von der flüssigen Milch ausgeht, entfällt in der Formel für  $g(t_A)$  lediglich die Ascheausbeute  $q_M$  und die Aschemenge  $m_A$  im Nenner wird durch das eingesetzte Probenvolumen  $V$  ersetzt.

Für die Nachweisgrenze des Sr-89 wird in Kapitel IV.5, Unterkapitel 4.4 dieser Meßanleitungen eine Ableitung wiedergegeben. Die Nachweisgrenze wird nach der dort aufgeführten Gleichung 4.22 berechnet. Die in Kapitel IV.5, Unterkapitel 4.4 definierten Koeffizienten  $\omega_1$  und  $\omega_2$  nehmen in konkreten Fall folgende Form an:

$$\omega_1 = \frac{f(t_1) \cdot f(t_2) \cdot f(t_3) \cdot \varphi_{Y-90}}{\eta_Y \cdot \varphi_{Sr-90}}$$

$$\omega_2 = \omega_{Sr-85}$$

Mit Hilfe dieser Koeffizienten und der Standardabweichungen der Nettozählraten  $R_c$ ,  $R_{Y-90}$  und  $R_{Sr-85}$  können die Größen  $\mu_1$  und  $\mu_2$ , sowie schließlich nach Gleichung 4.22 die Nachweisgrenze  $G$  für Sr-89 erhalten werden. Zur Berechnung der Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration für den Zeitpunkt der Probeentnahme  $g(t_A)$  muß  $G$  noch mit  $f(t_A)$  multipliziert und durch die chemische Ausbeute von Strontium und das eingesetzte Probenvolumen dividiert werden.

$$g(t_A) = \frac{f(t_A) \cdot G}{\eta_{Sr} \cdot V}$$

In Kapitel IV.5, Unterkapitel 6.3 werden an einem Beispiel die Nachweisgrenzen für Sr-89 und Sr-90 für eine Abwasserprobe berechnet. Analog muß auch die Berechnung für Milchproben durchgeführt werden.

Die Nachweisgrenzen liegen für Sr-90 bei Verwendung von 0,1 l Milch und einer Meßzeit des Yttrium-Oxalatpräparates von  $2,16 \cdot 10^4$  s (6 Stunden) bei 60 mBq pro Liter und für Sr-89 bei einer Meßzeit für das  $\text{SrCO}_3$ -Präparat von  $6 \cdot 10^3$  s (100 Minuten) bei 400 mBq pro Liter. Bei der Berechnung dieser Sr-89-Nachweisgrenze wurde allerdings vorausgesetzt, daß auch der Sr-90-Gehalt unter der Nachweisgrenze liegt.

## 7 Verzeichnis der erforderlichen Chemikalien und Geräte

Die erforderlichen Chemikalien und Geräte sind bei Verfahren F-Sr-90-MILCH-01 aufgelistet.