

**Verfahren zur Bestimmung der spezifischen  
Aktivität von Strontium-90 in Futtermittel-  
und Bewuchsproben mit dem  
Proportionalzählrohr  
(Dicyclohexyl-18-Krone-6-Methode)**

F-Sr-90-FUMI-03

Bearbeiter:

D. Tait

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

# Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Aktivität von Strontium-90 in Futtermittel- und Bewuchsproben mit dem Proportionalzählrohr (Dicyclohexyl-18-Krone-6-Methode)

## 1 Anwendbarkeit

Das Verfahren ist für die Überwachung der spezifischen Aktivität von Strontium-90 (Sr-90) in Proben von Futtermittel und Futtermittelrohstoffen sowie Weide- und Wiesenbewuchs nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) und der Richtlinie zur Erfassung der Emissionen und Immissionen kerntechnischer Anlagen (REI) geeignet. Mit diesem Verfahren können die in der AVV-IMIS geforderten Nachweisgrenzen erreicht werden (1).

### Anmerkung

Der Massenbezug der spezifischen Aktivität des Sr-90 gemäß AVV-IMIS ist bei Futtermitteln und Futtermittelrohstoffen die Trockenmasse, bei Weide- und Wiesenbewuchs die Feuchtmasse. Diese unterschiedlichen Massenbezüge werden bei der Berechnung der Ergebnisse im Abschnitt 5 berücksichtigt.

## 2 Probeentnahme

Zur Probeentnahme von Futtermitteln und Bewuchs wird auf das Verfahren F- $\gamma$ -SPEKT-FUMI-01 verwiesen.

## 3 Analyse

### 3.1 Prinzip des Verfahrens

Zum Prinzip des Verfahrens wird auf den entsprechenden Abschnitt des Verfahrens F-Sr-90-BODEN-02 verwiesen.

### 3.2 Probenvorbereitung

Zur Probenvorbereitung wird auf das Verfahren F- $\gamma$ -SPEKT-FUMI-01 verwiesen. Da die Qualität der Asche für die Extraktion des Strontiums und die chemische Ausbeute entscheidend ist, werden die von obigem Verfahren abweichenden Angaben zur Vorbereitung und Durchführung der Veraschung detailliert beschrieben.

- Alle getrockneten Proben werden grundsätzlich vor der Veraschung auf eine Teilchengröße kleiner als 1 mm gemahlen.
- Die Veraschung erfolgt bei diesem Verfahren bis zu 600 °C.

### Anmerkung

Für das Mahlen haben sich Schneidemühlen mit Probenabsaugung (Zyklonabsaugung) und Zentrifugalmühlen bewährt. Bei Probenarten, die das Sieb der Schneidemühle verstopfen, kann nur auf eine Teilchengröße von etwa 2 mm gemahlen werden. Das erhaltene Mahlgut

wird anschließend mit der Zentrifugalmühle auf eine Teilchengröße kleiner als 1 mm gemahlen.

Eine vollständige Veraschung der Probe ist neben der Temperatur von weiteren Faktoren wie Probenart, Probenaufbereitung, Gesamtmasse der Proben im Ofen, Ofenkonstruktion und Luftzufuhrbedingungen abhängig. Deshalb wird das getrocknete Probenmaterial auf eine Teilchengröße von kleiner als 1 mm gemahlen und anschließend bis zu einer Füllhöhe von maximal 10 mm in einer Schale aus Quarz oder Quarzglas verteilt.

Zur Veraschung in einem Veraschungsofen mit einem Kammervolumen von 150 l, Luftzutrittsventilen und katalytischer Abgasreinigung hat sich folgendes Temperaturprogramm für Probenmassen bis 1,6 kg Trockenmasse bewährt:

- innerhalb von 2 Stunden linear auf eine Temperatur von 250 °C beim geschlossenen Luftzutrittsventil des Ofens aufheizen;
- die Temperatur von 250 °C 2 Stunden halten;
- innerhalb von 3 Stunden linear auf eine Temperatur von 400 °C erhöhen;
- die Temperatur von 400 °C 2 Stunden halten (der Hauptanteil des organischen Materials ist dann entfernt und das Luftzutrittsventil kann geöffnet werden);
- innerhalb von 4 Stunden linear auf eine Temperatur von 600 °C aufheizen;
- die Temperatur von 600 °C 10 Stunden halten.

Sind in der Asche kleine braune oder schwarze Teilchen zu erkennen, ist die Veraschung zu wiederholen, um Probleme bei der radiochemischen Trennung zu umgehen. Proben, die auf mehrere Schalen verteilt wurden, werden nach der Veraschung wieder vereinigt und homogenisiert.

Die Aschen von Futtermittelproben sind zum Teil stark hygroskopisch. Daher werden die Aschen bei etwa 100 °C aus dem Ofen genommen, sofort bearbeitet oder im Exsikkator aufbewahrt. Andernfalls verfälscht die Absorption von Feuchtigkeit aus der Luft die Ascheausbeute und führt in manchen Fällen dazu, dass sich die Asche mit der Oberfläche der Veraschungsschale verbindet.

### **3.3 Radiochemische Trennung**

Die radiochemische Trennung wird nach dem Verfahren F-Sr-90-BODEN-02 durchgeführt. Die Angaben zu Beginn des Abschnittes 3.3 des obigen Verfahrens dienen als Orientierungshilfe.

Bei den meisten Aschen von Futtermittel- und Bewuchsproben ist die konventionelle Extraktion des Strontiums mit siedender verdünnter Salpetersäure bereits nach zwei Minuten nahezu vollständig erfolgt. Daher ist nur in wenigen Fällen eine mikrowellenunterstützte Extraktion bei 10 bar erforderlich.

Von der Asche werden 10 g für die Extraktion eingesetzt.

#### **Anmerkung**

Bei der im Arbeitsschritt 3.3.2.2 der im Verfahren F-Sr-90-BODEN-02 beschriebenen Flüssig-Flüssig-Extraktion trennen sich die Phasen gelegentlich nur langsam. In solchen Fällen führt die Zugabe von maximal 5 ml Methanol zu einer raschen Phasentrennung.

## 4 Messung der Aktivität

Zur Durchführung der Kalibrierung und zur Messung wird auf das Verfahren F-Sr-90-MILCH-04 verwiesen.

## 5 Berechnung der Analyseergebnisse

### 5.1 Gleichungen zur Berechnung

Die Berechnung der spezifischen Aktivität von Sr-90 erfolgt nach Gleichung (1). Entsprechend des gesetzlich geforderten Massenbezuges für die spezifische Aktivität in der Probenart steht in dieser Gleichung  $m$  entweder für die Trockenmasse ( $m_{\text{TM}}$ ) oder die Feuchtmasse ( $m_{\text{FM}}$ ).

$$a = f_2 \cdot \frac{\varphi_A}{\eta \cdot m} \cdot R_n = e^{\lambda \cdot t_A} \cdot \frac{\varphi_A}{\eta \cdot m} \cdot (R_b - R_0) \quad (1)$$

Darin bedeuten:

$a$  spezifische Aktivität von Sr-90 in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , bezogen auf Trockenmasse (TM) für Futtermittel und Futtermittelrohstoffe oder auf Feuchtmasse (FM) für Weide- und Wiesenbewuchs;

$\varphi_A$  aktivitätsbezogener Kalibrierfaktor in  $\text{Bq} \cdot \text{s}$ ;

$f_2$  Korrektionsfaktor für das Abklingen der Aktivität von Sr-90 für die Zeitspanne zwischen Probeentnahme und Beginn der Messung. Die Korrektion ist nur erforderlich, wenn die Zeitspanne relativ groß ist ( $t_A$  größer 0,5 Jahre);

$\lambda$  Zerfallskonstante des Sr-90 in  $\text{s}^{-1}$ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$t_{1/2}$  Halbwertszeit von Sr-90 in s;

$\eta$  chemische Ausbeute für Strontium;

$R_b$  Bruttozählrate in  $\text{s}^{-1}$ ;

$R_0$  Nulleffektzählrate in  $\text{s}^{-1}$ ;

$R_n$  Nettozählrate des (Sr-90 + Y-90)-Präparates in  $\text{s}^{-1}$ ;

$m$  Masse der eingesetzten Probe in kg:

$$m_{\text{TM}} = m_a \cdot q_1$$

$$m_{\text{FM}} = m_a \cdot q_1 \cdot q_2$$

$m_a$  Einwaage der Probenasche in kg;

$q_1$  Verhältnis Trockenmasse / Aschemasse;

$q_2$  Verhältnis Feuchtmasse / Trockenmasse.

Die relative Standardunsicherheit der spezifischen Aktivität  $u(a) \cdot a^{-1}$  beträgt nach Gleichung (2):

$$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\frac{1}{(R_b - R_0)^2} \cdot \left( \frac{R_b}{t_m} + \frac{R_0}{t_0} \right) + u_{\text{rel}}^2(f_2) + u_{\text{rel}}^2(\varphi_A) + u_{\text{rel}}^2(\eta) + u_{\text{rel}}^2(m)} \quad (2)$$

Darin bedeuten:

$t_m$  Messdauer in s;

$t_0$  Messdauer des Nulleffekts in s;

$u(a)$  Standardunsicherheit der spezifischen Aktivität  $a$  zum Zeitpunkt der Probeentnahme in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;

$u_{\text{rel}}(f_2)$  relative Standardunsicherheit des Korrektionsfaktors für das Abklingen der Aktivität von Sr-90 für die Zeitspanne zwischen Probeentnahme und Beginn der Messung;

$u_{\text{rel}}(\varphi_A)$  relative Standardunsicherheit des aktivitätsbezogenen Kalibrierfaktors;

$u_{\text{rel}}(\eta)$  relative Standardunsicherheit der chemischen Ausbeute für Strontium;

$u_{\text{rel}}(m)$  relative Standardunsicherheit der Masse der eingesetzten Probe bezogen auf Trockenmasse,  $u_{\text{rel}}(m_{\text{TM}})$ , oder Feuchtmasse,  $u_{\text{rel}}(m_{\text{FM}})$ .

Bei der Berechnung der kombinierten relativen Standardunsicherheit der spezifischen Aktivität können im Allgemeinen die Beiträge der relativen Standardunsicherheit des Korrektionsfaktors  $u_{\text{rel}}(f_2)$  und der Masse der eingesetzten Probe  $u_{\text{rel}}(m)$  vernachlässigt werden.

## 5.2 Rechenbeispiel

Ein Beispiel für die Berechnung der Ergebnisse auf der Basis der Trockenmasse der Probe ist im Verfahren F-Sr-90-Boden-02 gegeben. Daher wird hier ein Beispiel auf der Basis der Feuchtmasse einer Weidebewuchsprobe vorgestellt.

$R_b$	=	0,08294 $\text{s}^{-1}$ ;	$m_a$	=	0,010 kg;
$R_0$	=	0,00583 $\text{s}^{-1}$ ;	$q_1$	=	11,11;
$t_m$	=	$1,7 \cdot 10^5$ s;	$q_2$	=	5,0;
$t_0$	=	$2,5 \cdot 10^5$ s;	$m_{\text{FM}}$	=	0,555 kg;
$\varphi_A$	=	1,615 $\text{Bq} \cdot \text{s}$ ;	$\eta$	=	0,750;
$u_{\text{rel}}(\varphi_A)$	=	0,04;	$u_{\text{rel}}(\eta)$	=	0,05;
$f_2$	=	1,000.			

Nach Gleichung (1) beträgt die spezifische Aktivität von Sr-90:

$$a = \frac{1,00 \cdot 1,615 \cdot (0,08294 - 0,00583)}{0,750 \cdot 0,555} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM} = 0,30 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$$

Mit den obigen Werten beträgt nach Gleichung (2) die relative Standardunsicherheit der spezifischen Aktivität von Sr-90:

$$\begin{aligned} \frac{u(a)}{a} &= \sqrt{\frac{1}{(0,08294 - 0,00583)^2} \cdot \left( \frac{0,08294}{1,7 \cdot 10^5} + \frac{0,00583}{2,5 \cdot 10^5} \right) + 0,04^2 + 0,05^2} = \\ &= \sqrt{168 \cdot (4,87 \cdot 10^{-7} + 2,33 \cdot 10^{-8}) + 0,0041} = \sqrt{8,573 \cdot 10^{-5} + 0,0041} = \\ &= \sqrt{4,185 \cdot 10^{-3}} = 0,0647 \end{aligned}$$

Die spezifische Aktivität von Sr-90 in der Bewuchsprobe zum Zeitpunkt der Probenentnahme beträgt für dieses Beispiel:

$$a = (0,300 \pm 0,019) \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$$

Die Auswertung kann mit einem Excelprogramm durchgeführt werden, dessen Ansicht in Abschnitt 7.3.1 wiedergegeben ist.

### 5.3 Unsicherheiten der Analyseergebnisse

Die kombinierte Standardunsicherheit beinhaltet neben der zählstatistischen auch die Standardunsicherheiten der chemischen Trennung, der Ausbeutebestimmung und der Kalibrierung der Messgeräte.

## 6 Charakteristische Grenzen des Verfahrens

Die Berechnung der charakteristischen Grenzen erfolgt nach DIN ISO 11929.

Ein Excel-Tabellenblatt (siehe Abschnitt 7.3.1) sowie eine Projektdatei zum Programm UncertRadio (siehe Abschnitt 7.3.2) sind auf der Internetseite dieser Messanleitung abrufbar.

Weiterführende Betrachtungen zu den charakteristischen Grenzen finden sich in den Allgemeinen Kapitel ERK/NACHWEISGR-ISO-01 und ERK/NACHWEISGR-ISO-02 dieser Messanleitungen.

### 6.1 Gleichungen zur Berechnung

#### 6.1.1 Erkennungsgrenze

Zur Berechnung der Nachweisgrenzen des Verfahrens wird zunächst die Erkennungsgrenze  $a^*$  nach Gleichung (3) ermittelt.

$$a^* = k_{1-\alpha} \cdot f_2 \cdot \frac{\varphi_A}{\eta \cdot m} \cdot \sqrt{R_0 \cdot \left( \frac{1}{t_m} + \frac{1}{t_0} \right)} \quad (3)$$

$k_{1-\alpha}$  ist das Quantil der Standardnormalverteilung zum Fehler 1. Art  $\alpha$ .

### 6.1.2 Nachweisgrenze

Damit lässt sich die Nachweisgrenze  $a^\#$  nach der impliziten Gleichung (4) berechnen:

$$a^\# = a^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{a^{\#2} \cdot u_{\text{rel}}^2(w) + w^2 \cdot \left( \frac{a^\#}{t_m \cdot w} + \frac{R_0}{t_m} + \frac{R_0}{t_0} \right)} \quad (4)$$

mit

$$w = f_2 \cdot \frac{\varphi_A}{\eta \cdot m}$$

$$u_{\text{rel}}(w) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(f_2) + u_{\text{rel}}^2(\varphi_A) + u_{\text{rel}}^2(\eta) + u_{\text{rel}}^2(m)}$$

Nach Auflösung von Gleichung (4) wird die Nachweisgrenze nach Gleichung (5) berechnet.

$$a^\# = \frac{a^* \cdot \Psi}{\theta} \cdot \left\{ 1 + \sqrt{1 - \frac{\theta}{\Psi^2} \cdot \left( 1 - \frac{k_{1-\beta}^2}{k_{1-\alpha}^2} \right)} \right\} \quad (5)$$

mit den Hilfsgrößen

$$\theta = 1 - k_{1-\beta}^2 \cdot \left( u_{\text{rel}}^2(f_2) + u_{\text{rel}}^2(\varphi_A) + u_{\text{rel}}^2(\eta) + u_{\text{rel}}^2(m) \right)$$

$$\Psi = 1 + \frac{k_{1-\beta}^2}{2 \cdot a^*} \cdot \left( f_2 \cdot \frac{\varphi_A}{\eta \cdot m} \cdot \frac{1}{t_m} \right)$$

berechnen.

Darin ist  $k_{1-\beta}$  das Quantil der Standardnormalverteilung zum Fehler 2. Art  $\beta$ .

### 6.1.3 Grenzen des Vertrauensbereichs

Eine Betrachtung der Grenzen des Vertrauensbereichs ist nicht erforderlich.

## 6.2 Rechenbeispiel

$R_b$	=	0,08294 s <sup>-1</sup> ;	$m_{\text{FM}}$	=	0,555 kg;
$R_0$	=	0,00583 s <sup>-1</sup> ;	$f_2$	=	1,000;
$t_m$	=	1,7 · 10 <sup>5</sup> s;	$k_{1-\alpha}$	=	3;
$t_0$	=	2,5 · 10 <sup>5</sup> s;	$k_{1-\beta}$	=	1,645;
$\varphi_A$	=	1,615 Bq · s;	$u_{\text{rel}}(\varphi_A)$	=	0,04;
$\eta$	=	0,750;	$u_{\text{rel}}(\eta)$	=	0,05.

Mit diesen Werten beträgt die Erkennungsgrenze  $a^*$ :

$$\begin{aligned} a^* &= 3 \cdot 1,000 \cdot \frac{1,615}{0,750 \cdot 0,555} \cdot \sqrt{0,00583 \cdot \left( \frac{1}{1,7 \cdot 10^5} + \frac{1}{2,5 \cdot 10^5} \right)} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = \\ &= 11,6 \cdot \sqrt{5,761 \cdot 10^{-8}} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = 11,6 \cdot 0,00024 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = \\ &= 0,00278 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} \end{aligned}$$

Nach Gleichung (5) beträgt die Nachweisgrenze  $a^\#$ :

$$\begin{aligned} a^\# &= \frac{0,00278 \cdot 1,0111}{0,9889} \cdot \left\{ 1 + \sqrt{1 - \frac{0,9889}{1,0223} \cdot \left( 1 - \frac{2,706}{9} \right)} \right\} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = \\ &= 0,00284 \cdot \left\{ 1 + \sqrt{0,3235} \right\} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = 0,00284 \cdot 1,5688 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} = \\ &= 0,00445 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FM} \end{aligned}$$

mit

$$\theta = 1 - 2,706 \cdot (0,0016 + 0,0025) = 1 - 2,706 \cdot 0,0041 = 0,9889$$

$$\begin{aligned} \psi &= 1 + \frac{2,706}{2 \cdot 0,00278} \cdot \left( 1,000 \cdot \frac{1,615}{0,750 \cdot 0,555} \cdot \frac{1}{1,7 \cdot 10^5} \right) = \\ &= 1 + 486,7 \cdot 3,87 \cdot 5,882 \cdot 10^{-6} = 1,0111 \end{aligned}$$

## 7 Verzeichnis der Chemikalien und Geräte

### 7.1 Chemikalien

Die verwendeten Chemikalien sollten analysenrein sein.

- Ammoniumcarbamat;
- Dicyclohexyl-18-Krone-6 Chloroform:  $0,05 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ;
- Natriumacetat-Essigsäure-Lösung:  $0,05 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  Natriumacetat in  $0,05 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  Essigsäure;
- Natriumdichromatlösung,  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ :  $1,31 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$
- Natriumhydroxidlösung,  $\text{NaOH}$ :  $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $10 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ;
- Salpetersäure,  $\text{HNO}_3$ :  $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ;



## Trägerlösungen

- Bariumträgerlösung: 2 mg Ba<sup>2+</sup> pro ml Lösung:  
0,356 g Bariumchloriddihydrat (BaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O) in entionisiertem Wasser lösen, 1 ml Salzsäure (3 mol·l<sup>-1</sup>) zugeben, dann auf 100 ml mit entionisiertem Wasser auffüllen;
- Strontiumträgerlösung: 20 mg Sr<sup>2+</sup> pro ml Lösung:  
6,086 g Strontiumchloridhexahydrat (SrCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O) in entionisiertem Wasser lösen, 1 ml Salzsäure (3 mol·l<sup>-1</sup>) zugeben, dann auf 100 ml mit entionisiertem Wasser auffüllen;
- Yttriumträgerlösung: 20 mg Y<sup>3+</sup> pro ml Lösung:  
6,83 g Yttriumchloridhexahydrat (YCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O) in entionisiertem Wasser lösen, 1 ml Salzsäure (3 mol·l<sup>-1</sup>) zugeben, dann auf 100 ml mit entionisiertem Wasser auffüllen.

## 7.2 Geräte

- Schneidemühle mit Sieben für Teilchengröße kleiner 2 mm oder 1 mm und Probenabsaugung sowie Zentrifugalmühle mit einem Sieb für Teilchengröße weniger als 1 mm.
- Veraschungsschalen, z. B. aus Quarz oder Quarzglas 55 mm hoch, 145 mm breit, 205 mm lang und einer Wandstärke von 4 mm bis 5 mm;
- Veraschungsofen mit Luftzutrittsventilen oder -schlitzen und katalytischer Abgasreinigung, z. B. Kammerofen Typ N150 der Fa. Nabertherm;
- Optional - Mikrowellengerät mit 250 ml-Druckbehältern, z. B. Fa. MLS;
- Feine quantitative Papierfilter mit einem Porendurchmesser kleiner als 2 µm, oder Filter aus Zellulosenitrat mit einem Porendurchmesser von 0,45 µm;
- Low-level-Beta-Proportionalzählrohr mit Antikoinzidenzeinheit (Nulleffektzählrate kleiner als 0,008 s<sup>-1</sup>);
- Laborzentrifuge.

## 7.3 Programmgestützte Auswertung

### 7.3.1 Ansicht des Excel-Tabellenblatts

Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Aktivität von Strontium-90 in Futtermittel- und Bewuchsproben mit dem Proportionalzählrohr (Dicyclohexyl-18-Krone-6 – Methode)

F-Sr-90-FUMI-03

Version

November 2014/Juni 2019

Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung (ISSN: 1865-8725)

PROBENBEZEICHNUNG: Wiesenbewuchs

#Anzahl der Parameter p	8
k_alpha	3
k_beta	1,645
gamma	0,05

Erstellen von Excel-Variablen

Anwender:	Daten- und Parametereingabe
	Definition Excel-Variablen
	Eingabe Excel-Formeln
Excel-VBA:	#Schlüsselwörter
	Werte aus VBA

Dateneingabe-Block:					Unsicherheits-Budget:		
#Werte der Parameter p	Einheit	Excel-Variablen	Eingabewerte	StdAbw	partielle Ableitungen	Unsicherh.-Budget	Budget in %
p 1		Nb	14099,8	118,7425787	2,28228E-05	0,002710041	1,950731742
p 2	NE-Zählrate	1/s R0	5,83000E-03	1,52709E-04	-3,87987987	0,000592492	0,093241868
p 3	Messdauer	s tm	1,70000E+05		-1,8929E-06	0	0
p 4	NE-Messdauer	s t0	2,50000E+05		0	0	0
p 5	Frischmasse	kg mFM	0,55500000	2,50000E-03	-0,53905809	0,001347645	0,482388593
p 6	Kalibrierfaktor	Bq*s phia	1,61500000	6,46000E-02	0,185249249	0,011967102	38,03853918
p 7	Chemische Ausbeute	eta	0,75000000	3,75000E-02	-0,39890298	0,014958862	59,43509861
p 8	Abklingfaktor	_f2	1,00000000	0,00000E+00	0,299177538	0	0
(Liste hier verlängerbar)							
Modell-Block		c = Faktor * Rn					
Hilfsgleichungen h		(Formeln)					
h 1	#Bruttozählrate Rb	1/s Rb	8,29400E-02				
(Liste hier verlängerbar)							
	#Nettozählrate Rn	1/s Rn	7,71100E-02				
	#Kalibrierfaktor, verf.-bez.	Bq*s/kg Faktor	3,87988E+00				
	#Ergebniswert	Bq/kg Erg	2,99178E-01	0,004481337	-- von VBA modifizierb. Ergebniswert		
	#kombin. Stdmessunsicherheit	Bq/kg uErg	1,94034E-02				
	#Erkennungsgrenze	Bq/kg	0,002793856				
	#Nachweisgrenze	Bq/kg	0,004481336				
weitere abgeleitete Werte							
	Hilfsgröße Omega	Omega	1,0000				
	Bester Schätzwert	Bq/kg BestWert	2,99178E-01				
	Unsicherheit des b. Schätzwerts	Bq/kg	1,94034E-02				
	u. Grenze d. Vertrauensbereichs	Bq/kg	2,61148E-01				
	o. Grenze d. Vertrauensbereichs	Bq/kg	3,37207E-01				

Rechnen!

Das zugehörige Excel-Tabellenblatt findet sich auf der Internetseite dieser Messanleitung.

## 7.3.2 Ansicht der Resultatseite von UncertRadio

UncertRadio: Calculation of uncertainty budget and detection limits - F-Sr-90-FUMI-03\_V2014-11\_R2019-06.TXP

Datei Bearbeiten Optionen Hilfe

Verfahren Gleichungen Werte, Unsicherheiten Unsicherheitsbudget **Resultate** Text Editor

**Gesamtes Messergebnis für aSr90 :**

Erweiterungsfaktor k:	1,0
Wert der Ergebnisgröße:	0,299178 Bq/kg
erweiterte (Std.-)Unsicherheit:	1,935883E- Bq/kg
relative erw.(Std.-)Unsicherheit:	6,47068 %
Beste Schätzwerte nach Bayes:	<input type="checkbox"/> min. Coverage-Intervall
Wert der Ergebnisgröße:	0,299178 Bq/kg
erweiterte (Std.-)Unsicherheit:	1,935883E- Bq/kg
untere Vertrauensgrenze:	0,261235 Bq/kg
obere Vertrauensgrenze:	0,337120 Bq/kg
Wahrscheinlichkeit (1-gamma):	0,950

**Erkennungs- und Nachweisgrenze für aSr90 :**

Erkennungsgrenze (EKG):	2,793856E- Bq/kg	Iterationen:	1
Nachweisgrenze (NWG):	4,480852E- Bq/kg	Iterationen:	5
k_alpha=3.000, k_beta=1.645 Methode: ISO 11929:2010, iterativ			

**LinFit: Standardunsicherheit des Fitparameters ai:**

aus LS-Analyse:	
aus Unsicherheitsfortpflanzung:	
reduziertes Chi-Quadrat:	

**Monte Carlo Simulation:**

Anzahl der simul. Messungen:	100000	<input type="checkbox"/> Werte <0 einbezogen
Anzahl der Runs:	1	<input type="checkbox"/> min. Coverage-Intervall
relSD%:		
Wert der Ergebnisgröße:	0,299944 Bq/kg	0,021
erweiterte Unsicherheit:	1,957870E- Bq/kg	0,224
relative erw.(Std.-)Unsicherheit:	6,52745 %	
untere Vertrauensgrenze:	0,263981 Bq/kg	0,063
obere Vertrauensgrenze:	0,340825 Bq/kg	0,049
Erkennungsgrenze (EKG):	2,785797E- Bq/kg	0,873
Nachweisgrenze (NWG):	4,442774E- Bq/kg	0,569
aktiver Run:	1	IT: 15

Start MC

Projekt: ittel\F-Sr-90-FUMI-03\F-Sr-90-FUMI-03\_V2014-11\_R2019-06.TXP Fertigt!

Die zugehörige UncertRadio-Projektdatei findet sich auf der Internetseite dieser Messanleitung.

## Literatur

- (1) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006, BAnz. 2006, Nr. 244a.