

Zusatz zur Messanleitung für YB-Mini-Monitor

Messung von Radioaktivität in Lebensmitteln mit dem YB-MM-Si8b

Teil 1 :

Messen nach der Beta-Gamma-Methode (by-Messmethode)

=====

Autor :

Chetan Reinhard

Josephsburgstr. 38

81673 München

email : chetan@t-online.de

München den 17.02.2019

Inhaltsverzeichnis :

0. Einleitung

1.) Messung von Radioaktivität in Lebensmitteln mit dem Strahlenmessgerät YB-Mini-Monitor YB-MM-Si8b

1.1) Spezifische Aktivität einer Lebensmittel Stoffprobe. Messen nach der Beta-Gamma-Methode (by-Messmethode)

1.1.1.) Vorgehensweise Messung nach der by-Messmethode

1.1.2.) Kaliumgehalt des Probenmaterials berücksichtigen

1.1.3.) Nuklidspezifischer Multiplikationsfaktor

1.1.4.) Materialproben geringer Dichte.

2.) Zufälliger Messfehler

0. Einleitung :

YB-Mini-Monitor kann helfen, überhöhte Radioaktivität in Gegenständen des täglichen Lebens, in Baumaterial, Hauswänden und Lebensmitteln zu erkennen.

Die radioaktive Hintergrundstrahlung steigt auf der Erdoberfläche seit vielen Jahren Jahr für Jahr um geringe Werte an. Es wird vermutet, dass dies auf Verklappung radioaktiven Mülls rückführbar ist. Fälle von heimlicher und illegaler Entsorgung hoch radioaktiver Substanzen welche aus dem Ausland nach Deutschland gelangen, sind in der nahen Vergangenheit bekannt geworden. NORM-Stoffe, Radium, Thorium und Uran dringen seit vielen Jahren fast unbemerkt in die Biosphäre vor. Biologisch erzeugte Nahrungsmittel, Pflanzen und Gartengemüse können inzwischen mit natürlichen und künstlich erzeugten Radionukliden belastet sein. Radioaktives Cäsium aus AKW-Havarien und Atomexplosionstests verteilen sich in die Wohngebiete. Baustoffe, Hauswände und biologisch angebaute Lebensmittel sind inzwischen kontaminiert.

Gewöhnlich gibt man die radioaktive Kontamination von Lebensmitteln in Becquerel an. 1 Becquerel entspricht dabei einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde. In Japan gelten für Lebensmittel Grenzwerte von 300 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) für Cäsium-137, bei Babynahrung dürfen 100 Bq/kg nicht überschritten werden. In der EU gelten höhere Grenzwerte von 370 Bq/kg für Milchprodukte und Babynahrung sowie von 600 Bq/kg für andere Lebensmittel. Im Falle eines nuklearen Unfalls treten in der EU jedoch automatisch erhöhte Grenzwerte für Cäsium-137 von 400 Bq/kg für Babynahrung, 1000 Bq/kg bei Milchprodukten sowie 1250 Bq/kg für sonstige Lebensmittel in Kraft.

Cäsium-137 und Strontium-90

Die beiden radioaktiven Isotope Cäsium-137 und Strontium-90 haben eine relativ lange Halbwertszeit von rund 30 bzw. 28 Jahren. 25 Jahre nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl ist also noch nicht einmal die Hälfte dieser damals freigesetzten radioaktiven Stoffe zerfallen. Beides sind Betastrahler, die nach Aufnahme im Körper viel Schaden anrichten können. Cäsium-137 setzt zudem beim Zerfall auch Gammastrahlung frei.

Cäsium-137 kann von Pflanzen nach Ablagerung auf den Blättern durch Regen oder herabgefallene Partikel aus der Luft in die Pflanze übergehen. In den meisten Böden wird es durch Tonmaterialien gebunden, aus tonarmen Waldböden kann es jedoch speziell von Pilzen oder z.B. beerentragenden Pflanzen leicht aufgenommen werden. Beim Verzehr kontaminierter Lebensmittel verteilt sich Cäsium-137 im Körper relativ gleichmäßig und kann aufgrund der beim Zerfall freigesetzten Beta- und Gammastrahlung Krebs auslösen.

Strontium-90 geht sowohl über Ablagerungen auf den Blättern wie auch speziell aus kalkarmen Böden in Pflanzen über. Sowohl Cäsium-137 wie auch Strontium-90 verbleiben dabei über Jahrzehnte in den obersten Humusschichten, wie die Erfahrung nach Tschernobyl zeigt. Durch den Verzehr von kontaminierten Pilzen, Früchten sowie Fleisch oder Milch von Tieren, die kontaminiertes Gras gefressen haben, gelangen Cäsium-137 und Strontium-90 schließlich in die menschliche Nahrungskette. Strontium-90 verhält sich im Körper ähnlich wie natürlich vorkommendes Kalzium und sammelt sich wie dieses im Knochen, von wo der

Betastrahler das Knochenmark verstrahlt und somit Leukämie verursachen kann. Wie Kalzium geht es auch in großen Mengen in Muttermilch über.

Kontaminierte Lebensmittel 25 Jahre nach Tschernobyl

Bedingt durch das Abregnen radioaktiver Partikel, die vom Unglücksreaktor in Tschernobyl stammten, können auch heute noch in vielen Teilen Europas erhöhte Cäsium-137-Werte festgestellt werden. So lagen beispielsweise im Vereinigten Königreich 2009 noch immer 369 Bauernhöfe (mit insgesamt 190.000 Schafen) in stark mit Cäsium-137 kontaminierten Gebieten. In Frankreich wurde noch 1997 bei Pilzen der Grenzwert für Cäsium-137 in der Region Vosges um das 40fache überschritten. 2010 weist noch immer jedes fünfte im Bayrischen Wald geschossene Wildschwein mehr als 600 Bq/kg auf und darf nicht verzehrt werden. Die Wildschweine fressen dabei mit Vorliebe die stark mit Cäsium-137 kontaminierte Hirschtrüffel und reichern so das radioaktive Nuklid in ihrem Körper an.

Quelle : <http://www.greenpeace.org/austria/de/themen/atom/hintergrund-info/radioaktivitaet-und-lebensmittel/>

1.) Messung von Radioaktivität in Lebensmitteln mit dem Strahlenmessgerät YB-Mini-Monitor

YB-MM-Si8b

Mit dem YB-Mini Monitor Strahlenmessgerät kann, Radioaktivität auch geringer Dosis in Lebensmitteln erkannt und gemessen werden. Stellen Sie dazu am Messgerät den Messbereichwahlschalter in die Position **IMPULS** :



Messbereichwahlschalter

Es kann mit dem YB-Mini-Monitor die spezifische Aktivität [Bq/kg] von flüssigen und pulverisierten Stoffproben gemessen werden. Zu diesem Zweck enthält das Zubehör einen Aluminiumbehälter (Messschale aus Aluminium).



Bild01 : Messschale aus Aluminium mit Deckel

1.1) Spezifische Aktivität einer Lebensmittel Stoffprobe. Messen nach der Beta-Gamma-Methode (by-Messmethode)

Die by-Messmethode wird mit geöffnetem Beta-Fenster am Strahlenmessgerät durchgeführt und erkennt aufgrund des geöffneten Beta-Fensters vornehmlich Beta-strahlende Radionuklide in einer Stoffprobe. Auch Gamma-strahlende Radionuklide werden erkannt. Es empfiehlt sich eine Lebensmittelprobe zunächst nach dieser by-Messmethode auf Radioaktivität zu untersuchen.

1.1.1) Vorgehensweise Messung nach der by-Messmethode.

Zunächst wird der Nulleffekt bestimmt. Das Messergebnis aus dem Nulleffekt wird später vom Messergebnis der Probenmessung abgezogen. Die geöffnete Messschale aus Aluminium wird dazu auf eine ebene und unkontaminierte Unterlage platziert

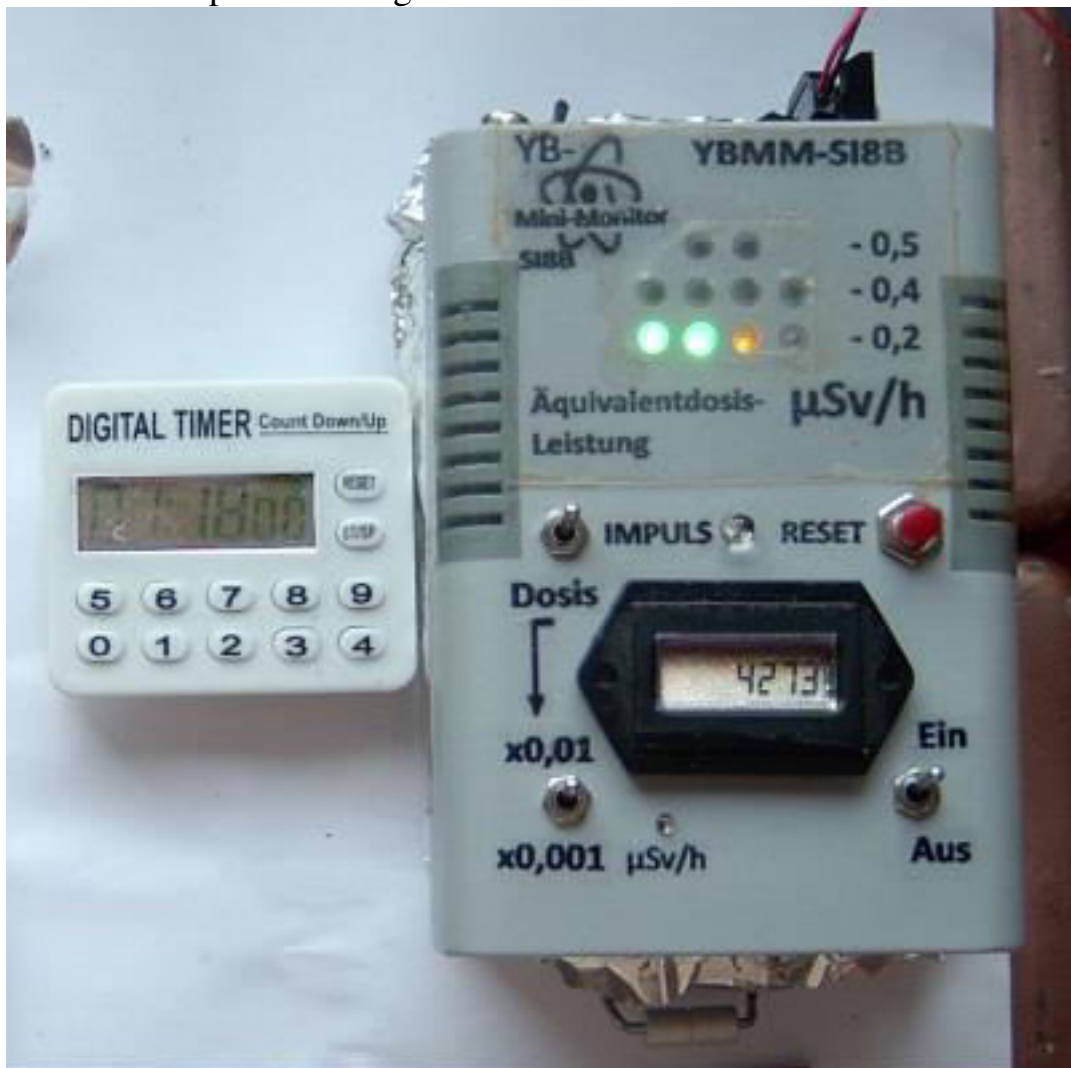


und nun mit einer Aluminiumfolie bedeckt.



Zur Messung des Nulleffektes wird nun der YB-MM-Si8b auf diese leere Schale und der Aluminiumfolie aufgesetzt. Das Messgerät wird eingeschaltet und die Messung kann mit der RESET-Taste gestartet werden. Gleichzeitig mit

betätigen der RESET-Taste wird eine Stoppuhr gestartet. An der Stoppuhr wird die Messzeitspanne T0 abgelesen.



Z0=4273 ; T0 = 1h18 (78 Minuten)

Exakt auf die volle Minute wird nun der Zählerwert Z0 der Nullmessung abgelesen und notiert. Auch die Messzeitspanne T0 wird dazu aufgeschrieben. Es sind beliebige Messzeiten T0 wählbar.

In diesem Beispiel wird Z0 =4273 exakt zur Zeit T0 = 78 Minuten abgelesen
Beispiel :

Z0 = 4273

T0 = 78 Minuten

Zählrate **R0** berechnen :

Z0 wird nun auf T0 bezogen.

$R0 = Z0/T0 = 4273 /78 = 54,78$

R0 = 54,78 [IpM]

; [IpM : Impulse pro Minute]

=====

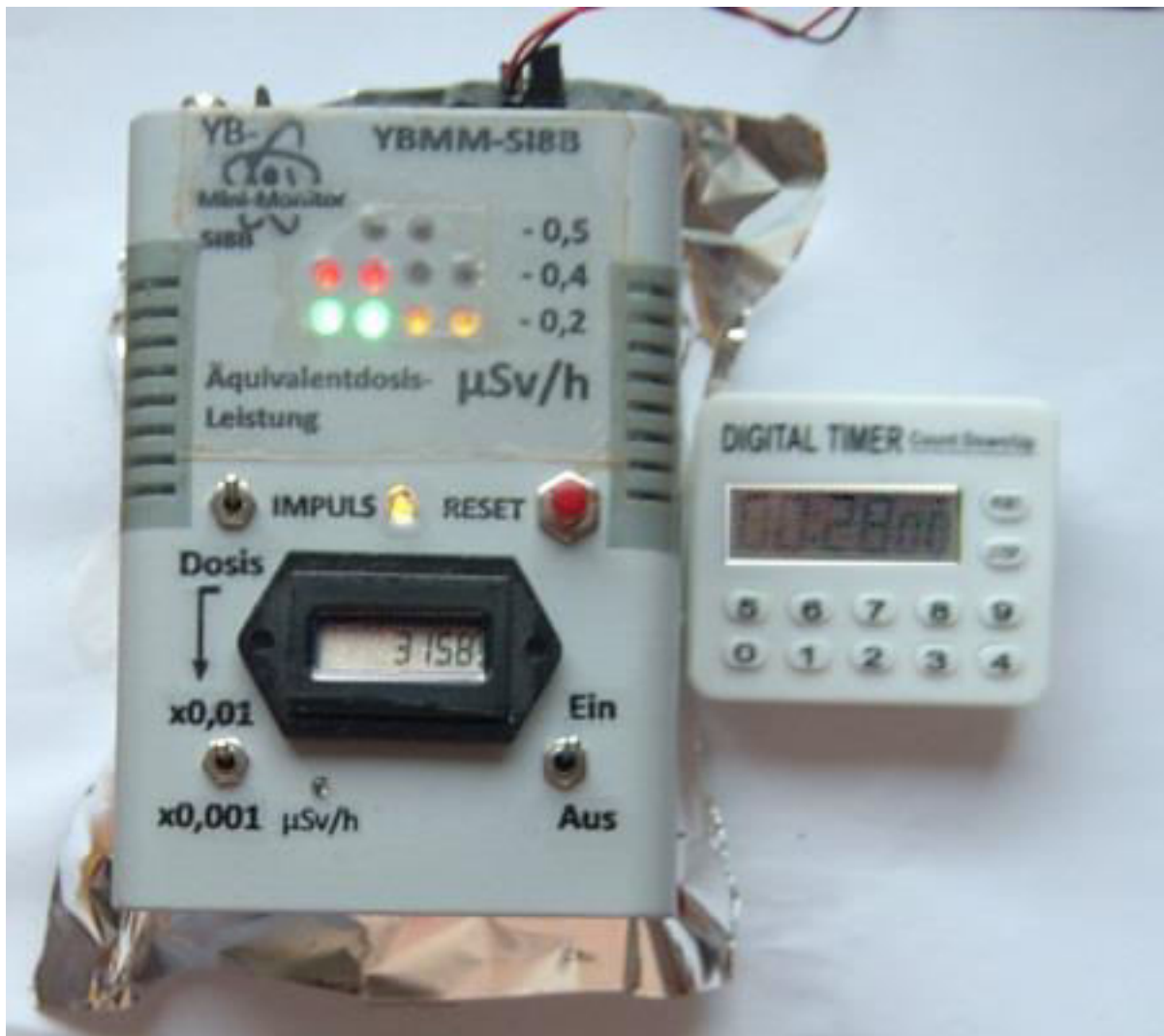
Nun wird die Messschale mit der zu überprüfenden Lebensmittelprobe bis knapp unterhalb des Randes gefüllt. Im folgenden Beispiel werden 50 Gramm **getrocknete Waldpilze** eingefüllt. Die Stoppuhr wird auf Null zurück gesetzt.



Die gefüllte Messschale wird mit der Alu-Folie abgedeckt. Die Alu-Folie schützt das Messgerät vor unbeabsichtigter Kontamination.



Zur Messung der Probe wird nun der YB-MM-Si8b auf diese mit der Lebensmittelprobe **getrocknete Waldpilze** gefüllten Schale und der Alufolie aufgesetzt. Das Messgerät wird eingeschaltet und die Messung kann mit der RESET-Taste gestartet werden. Gleichzeitig mit betätigen der RESET-Taste wird eine Stoppuhr gestartet. An der Stoppuhr kann zu jeder Zeit die verstrichene Messzeitspanne T_p abgelesen werden.



$Z_p=3158$; $T_p = 28$ Minuten

Exakt auf eine volle Minute wird der Zählerwert Z_p zur Probenmessung abgelesen und notiert. Auch die genaue Messzeitspanne wird an der Uhr abgelesen und aufgeschrieben. Es sind beliebige Messzeiten T_p wählbar. Sinnvoll sind Messzeiten T_p kleiner oder gleich der zuvor bei der Nullmessung gewählten Messzeitspanne T_0 . Verlängerung der Messzeitspanne erhöht die Messgenauigkeit.

In diesem Beispiel sei $T_p = 28$ Minuten.

Beispiel :

$Z_p = 3158$

$T_p = 28$ Minuten

Zählrate **R_p** berechnen :

Es wird auf die Rate **R_p** umgerechnet.

$$R_p = Z_p/T_p = 3158 / 28 = 112,79$$

$$R_p = 112,79 \text{ [IpM]}$$

; [IpM : Impulse pro Minute]

=====

Die messbare spezifische Aktivität A [Bq/kg] des Probenmaterials ergibt sich nun nach der folgenden Bestimmungsgleichung (Faustformel) :

$$I) \quad A(\text{by}, K40) [\text{Bq/kg}] = F(\text{by}, K40) * (R_p - R_0) \quad ; \quad F(\text{by}, K40) = \text{Kalibrierfaktor}$$

Ein für den YB-Mini-Monitor passender Kalibrierfaktor $F(\text{by}, K40)$

wird zu dem Messgerät angegeben. (siehe Kalibriervermerk auf dem Messgerät)

Anmerkung :

Die geklammerte Bezeichnung (by,K40) bedeutet, das es sich um die Messung nach der by-Methode handelt und die Kalibrierung auf das Radionuklid Kalium-40 abgestimmt ist.

Wegen Absorptionseffekten von Beta-Strahlung innerhalb der Materialschicht ist die Masse des Probenmaterials aus der Bestimmungsgleichung I) eliminiert. (by-Messmethode)

Rechenbeispiel :

$$F(\text{by}, K40) = 36 \quad \leftarrow \text{Kalibrierfaktor} \quad (\text{by-Messmethode})$$

In die Bestimmungsgleichung I) werden nun alle Zahlenwerte eingesetzt :

$$A(\text{by}, K40) = F(\text{by}, K40) * (R_p - R_0)$$

$$A(\text{by}, K40) = 36 * (112,79 - 54,78)$$

$$A(\text{by}, K40) = 36 * 58,01$$

Ergebnis :

$$A(\text{by}, K40) = 2088 \text{ [Bq/kg]} \quad \leftarrow \text{scheinbare K-40 Aktivität, gemessen nach der by-Messmethode}$$

=====

1.1.2) Kaliumgehalt des Probenmaterials berücksichtigen (Kaliumnachweis)

Lebensmittel enthalten manchmal natürliches Kalium. Kalium ist ein für den Stoffwechsel des Organismus bedeutsames Mineral. Dieses Mineral enthält das natürliche Radioisotop Kalium-40. Sollte die nach der by-Methode messbare Aktivität A einen signifikanten positiven Wert annehmen, muss der natürliche Kaliumgehalt des überprüften Lebensmittels bestimmt werden. Zu vielen Lebensmittel ist inzwischen der Mineralgehalt aus Lebensmitteltabellen (z.B. <http://www.naehrwertrechner.de/>) ablesbar. (Hinweis : Lebensmitteltabellen geben häufig einen ungenauen Mittelwert an. Zur Bestimmung des exakten Kaliumgehaltes einer bestimmten Lebensmittelprobe empfiehlt sich der Einsatz z.B. einer chemischen Nachweismethode z.B. durch ein Labor.)

Rechenbeispiel :

Kaliumgehalt von getrockneten Pilzen:

49,85 g pro kg , laut Nährwerttabelle (www.naehrwertrechner.de)

(Kaliumnachweis anhand Nährwerttabelle <http://www.naehrwertrechner.de/> : 49,85 g Kalium pro Kg getrockneter Pilze)

Die zu erwartende K40-Aktivität A(K40) pro Kilogramm der getrockneten Pilze errechnet sich aus dieser Angabe wie folgt :

$$A(K40) = 49,85 \text{ [g/kg]} * 32 \text{ [Bq/g]} ; \quad (32 \text{ Bq/g} = \text{Aktivität von 1 Gramm Kalium natürliches Isotopengemisch})$$

$$A(K40) = 1595 \text{ [Bq/kg]} \quad < \text{ -- erwartete K-40 Aktivität aufgrund des natürlichen Kaliumgehaltes.}$$

=====

Wird nun von der gemessenen Aktivität $A(\text{by}, K40) = 2088 \text{ [Bq/kg]}$ die erwartete K-40 Aktivität $A(K40) = 1595 \text{ [Bq/kg]}$ abgezogen, so ergibt sich eine Restaktivität **Res** (Residuum : = Restaktivität unbestimmter von Kalium-40 verschiedener Radionuklide) :

$$\text{Res} = A(\text{by}, K40) - A(K40)$$

$$\text{Res} = 2088 \text{ [Bq/kg]} - 1595 \text{ [Bq/kg]}$$

$$\text{Res} = 493 \text{ [Bq/kg]}$$

=====

1.1.3. Nuklidspezifischer Multiplikationsfaktor

Seit einigen Jahren ist bekannt , das Lebensmittel mit dem künstlichen Radionuklid Cäsium-137 kontaminiert sein können. Multiplikation der Restaktivität **Res** mit einem nuklidspezifischen Multiplikationsfaktor MF

Nuklid	Xenon-Zählrohr BZ100X	Si8b	SBM20
K-40	1	1	1
Cs-137	1,5	2,7	3,7

Tabelle :
MF für verschiedene Radionuklide und Zählröhren
(ungefähre Werte)

$MF(\text{by}, Cs137) = 2,7$ für Cäsium-137 liefert eine Abschätzung der Cäsium-137 Aktivität innerhalb der beurteilten Materialprobe. (In diesem Rechenbeispiel **getrocknete Waldpilze**)

Ia) $A(\text{by}, \text{Cs137})[\text{Bq/kg}] = \text{Res} * \text{MF}(\text{by}, \text{Cs137})$; MF = nuklidspezifischer
Multiplikationsfaktor
MF(by, cs137) = 2,7

Rechenbeispiel mit : Res = 493 [Bq/kg]

$$A(\text{by}, \text{Cs137}) = 493 [\text{Bq/kg}] * 2,7$$

$$A(\text{by}, \text{Cs137}) = 1331[\text{Bq/kg}] \quad \leftarrow \text{scheinbare Cs-137 Aktivität, gemessen nach der by-Messmethode}$$

=====

1.1.4) Materialproben geringer Dichte

Werden Materialproben nach der by-Messmethode gemessen, die eine sehr geringe Dichte unterhalb der Dichte des eingesetzten Kalibriernormals aufweisen, dann kann ein relevanter systematischer Messfehler entstehen. Werden Materialproben geringer Dichte gemessen, ist deshalb darauf zu achten, dass die Füllhöhe der eingesetzten Messschale hoch genug ausgelegt wird. (z.B. eine Messschale mit erhöhtem Rand einsetzen)

2.) Zufälliger Messfehler

Der zufällige Messfehler **sa** der messbaren Aktivität **A** berechnet sich nach üblichen statistischen Methoden, welche für voneinander unabhängige Zufallsvariablen gelten. Es wird Poisson-Verteilung für

Z_0 (Zählerstand Nulleffekt)

und

Z_p (Zählerstand Probenmessung)

angenommen.

Die Bestimmungsgleichungen für den zufälligen Messfehler **sa** der messbaren Aktivität **A** lauten :

$$\mathbf{sa = \text{SQRT}(sp^2 + s0^2) * F}$$
 ; s_0 = zufälliger Messfehler von R_0
 sp = zufälliger Messfehler von R_p
 F = Kalibrierfaktor

$$s_0 = \text{SQRT}(Z_0) / T_0 * 0,71$$

$$sp = \text{SQRT}(Z_p) / T_p * 0,71$$

(Hinweis : Das Strahlenmessgerät YBMMSi8b ist mit einem 1/2-Permanent-Vorteiler ausgestattet wodurch sich ein um den Faktor $1/\sqrt{2} = 0,71$ verbesserter zufälliger Messfehler ergibt.

Rechenbeispiel (passend zu Abschnitt 1.1.1.) :

$$F = 36$$

$$Z_0 = 4273 \quad ; \quad T_0 = 78$$

$$Z_p = 3158 \quad ; \quad T_p = 28$$

-->

$$s_0 = \text{SQRT}(4273) / 78 * 0,71$$

$$s_0 = 0,60$$
$$s_p = \text{SQRT}(3158) / 28 * 0,71$$
$$s_p = 1,42$$

$$s_a = \text{SQRT}(1,42^2 + 0,60^2) * 36$$
$$s_a = +-1,54 * 36$$

$$\mathbf{s_a = +- 56 [Bq/kg]}$$

=====

Rechenbeispiel (passend zu Abschnitt 1.1.2.) :
Beispielhaft wird angenommen das der Kaliumnachweis auf +-7g/kg
genau ist. Die Standardabweichung der erwarteten Kalium-40 Aktivität ist dann :
 $s(\text{Ak40}) = +- 7,00 \text{ g/Kg} * 32 \text{ Bq/g}$
 $s(\text{AK40}) = +- 224 \text{ Bq/kg}$

Die Standardabweichung des Residuums :

$$s(\text{Res}) = \text{SQRT}(s^2(\text{AK40}) + s_a^2)$$

$$s(\text{Res}) = \text{SQRT}(224^2 + 56^2)$$

$$\mathbf{s(\text{Res}) = +- 231 \text{ Bq/kg}}$$

=====

Rechenbeispiel (passend zu Abschnitt 1.1.3.) :

Standardabweichung der scheinbaren Cs-137 Aktivität $A(\text{by,Cs137})$:

$$s(A(\text{by,Cs137})) = s(\text{Res}) * 3,7$$

$$s(A(\text{by,Cs137})) = +- 231 \text{ Bq/kg} * 2,7$$

$$\mathbf{s(A(\text{by,Cs137})) = +- 624 \text{ Bq/kg}}$$

=====

Letzte Text-Änderung :

München den 17.02.2019

Autor : Chetan Reinhard ; Josephsburgstr. 38 ; 81673 München ;

Tel.: 089-432703

email: chetan@t-online.de