

Zusatz zur Messanleitung für YB-Mini-Monitor

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

Autor :

Chetan Reinhard

Josephsburgstr. 38

81673 München

email : chetan@t-online.de

Teil 2 :

Messen nach der Gamma-Methode (y-Messmethode)

=====

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 Gamma-Methode (y-Messmethode)

1.1.1) Vorgehensweise Messung nach der y-Messmethode

1.1.2.) Kaliumgehalt des Probenmaterials berücksichtigen (Kaliumnachweis)

1.1.3.) Nuklidspezifischer Multiplikationsfaktor

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 Bayerischen 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).



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

Das Beta-Fenster wird dazu mit einem Gamma-Filter (1mm Kupferblech) geschlossen. Das Kupferblech schirmt Beta-Strahlung. Gamma-Quanten durchdringen das Kupferblech jedoch und erreichen den Detektor weitgehend ungehindert. Auf diese Weise kann der Gamma - Anteil gemessen werden, welcher über die Oberfläche einer Materialprobe nach Aussen in die Umgebung strömt.

1.1.1) Vorgehensweise Messung nach der γ -Messmethode.

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



und nun mit einer Aluminiumfolie bedeckt.



Auf diese Anordnung wird der Gamma-Filter (Zubehör zum YB-Mini-Monitor) gelegt. Der Gamma-Filter schirmt Beta-Strahlung. Gamma-Strahlung durchdringt den Gamma-Filter. Eine Stoppuhr wird bereit gelegt.



**y-Messmethode mit dem YB-MM-Si8b
Nullmessung , Messanordnung mit Gamma-Filter**

Zur Messung des Nulleffektes wird nun der YB-MM-Si8b auf diesen Aufbau (leere Schale + Alu-Folie + Gamma-Filter) 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 T_0 abgelesen.

Wegen der geringen Wechselwirkung der Gamma-Strahlung mit Materie besitzen Geigerzähler allgemein eine verminderte Ansprechwahrscheinlichkeit für diese Strahlenart.

Um zufällige Messfehler gering zu halten und um eine zufriedenstellende Messgenauigkeit zu erreichen sind nun sehr lange Messzeiten, vorzugsweise über mehrere Stunden oder mehrere Tage angemessen.



Z0=264461 ; T0 = 72h28 (4348 Minuten)

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

In diesem Beispiel wird Z0 = 264461 exakt zur Zeit T0 = 4348 Minuten abgelesen

Beispiel :

Z0 = 264461

T0 = 4348 Minuten

Zählrate **R0** berechnen :

Z0 wird nun auf T0 bezogen.

$R0 = Z0/T0 = 264461 / 4348 = 60,82$

R0 = 60,82 [IpM]

; [IpM : Impulse pro Minute]

=====

Nun wird die Messschale mit der zu überprüfenden Lebensmittelprobe bis knapp unterhalb des Randes gefüllt.

Im folgenden Beispiel werden **getrocknete Waldpilze** eingefüllt (50 Gramm) . 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.



Auf diese Anordnung wird nun ebenfalls - wie bei der Nullmessung - wieder der Gamma-Filter (Zubehör zum YB-Mini-Monitor) gelegt. Der Gamma-Filter schirmt Beta-Strahlung. Gamma-Strahlung durchdringt den Gamma-Filter. Eine Stoppuhr wird bereit gelegt.



y-Messmethode mit dem YB-MM-Si8b
Messung des Probenmaterials , Messanordnung mit Gamma-Filter

Zur Messung der Probe wird nun der YB-MM-Si8b auf diese mit der Lebensmittelprobe **getrocknete Waldpilze** gefüllten Schale + Aluminiumfolie + Gamma-Filter 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.



$Z_p=84702$; $T_p = 22h20$ (1340 Minuten)

Exakt auf die volle Minute wird nun der Zählerwert Z_p zur Probenmessung abgelesen und notiert. Auch die dazu passende 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 die Nullmessung gewählte Messzeitspanne. Verlängerung der Messzeitspanne erhöht die Messgenauigkeit.

Beispiel :

$$Z_p = 84702$$

$$T_p = 1340 \text{ Minuten}$$

Zählrate **R_p** berechnen :

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

$$R_p = Z_p/T_p = 84720 / 1340 = 63,21$$

$$\mathbf{R_p = 63,21 [IpM]} \quad ; \text{ [IpM : Impulse pro Minute]}$$

=====

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

$$\mathbf{II) A(y,K40)[Bq/kg] = 1000 * F(y,K40) * (R_p - R_0) / M[g] ;}$$

F(y,K40) = Kalibrierfaktor

M[g] = Masse der eingefüllten Materialprobe in Gramm

Ein für den YB-Mini-Monitor passender Kalibrierfaktor F(y,K40) wird zu dem Messgerät angegeben. (siehe Kalibriervermerk auf dem Messgerät)

Anmerkung :

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

Rechenbeispiel (für Messgerät yb-MM-Si8b):

$$\mathbf{F(y,K40) = 295} \quad \leftarrow \text{Kalibrierfaktor (y-Messmethode)}$$

Die Zahlenwerte werden in die Bestimmungsgleichung II) eingesetzt. Mit Kalibrierfaktor F= 295 und M = 50 Gramm Probenmasse ist :

$$A(y,K40) = 1000 * \mathbf{F(y,K40)} * (R_p - R_0) / \mathbf{M[g]}$$

$$A(y,K40) = 1000 * 295 * (63,21 - 60,82) / 50$$

$$A(y,K40) = 1000 * 295 * (2,4) / 50$$

$$A(y,K40) = 14139 \text{ [Bq/kg]} \quad \leftarrow \text{scheinbare K-40 Aktivität, gemessen nach der y-Messmethode}$$

=====

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 γ -Methode messbare Aktivität **A** einen signifikanten positiven Wert annehmen, sollte der natürliche Kaliumgehalt des überprüften Lebensmittels bestimmt werden. Zu vielen Lebensmittel ist inzwischen der Mineralgehalt aus Lebensmitteltabellen (z.B. <http://www.naehrwertrechner.de/>) ablesbar.

Beispiel :

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 hieraus wie folgt :

$$A(K40) = 49,85 \text{ [g/kg]} * 32 \text{ [Bq/g]} ;$$

(32 Bq/g = Aktivität von 1 Gramm Kalium natürliches Isotopengemisch)

$$A(K40) = 1595 \text{ [Bq/kg]}$$

< -- erwartete K-40 Aktivität aufgrund des natürlichen Kaliumgehaltes.

=====

Wird nun von der gemessenen Aktivität **A(y,K40)** die erwartete K-40 Aktivität **A(K40)** abgezogen, so ergibt sich eine Restaktivität **Res** (Residuum : = Restaktivität unbestimmter von Kalium-40 verschiedener Radionuklide)

$$\mathbf{Res} = A(y,K40) - A(K40)$$

$$\mathbf{Res} = 14139 \text{ [Bq/kg]} - 1595 \text{ [Bq/kg]}$$

$$\mathbf{Res} = 12544 \text{ [Bq/kg]}$$

1.1.3. Nuklidspezifischer Multiplikationsfaktor

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass Lebensmittel mit dem künstlichen Radionuklid Cäsium-137 kontaminiert sein können. Multiplikation der Restaktivität **Res** mit einem nuklidspezifischen Multiplikationsfaktor $\mathbf{MF(y, Cs137) = 0,11}$ für Cäsium-137 liefert eine Abschätzung der Cäsium-137 Aktivität innerhalb der beurteilten Materialprobe. (Im Rechenbeispiel eine Pilzprobe)

$$\mathbf{IIa) A(y, Cs137) = Res * MF(y, Cs137) ; MF(y, Cs137) = 0,11} \quad \text{(nuklidspezifischer Multiplikationsfaktor)}$$

Rechenbeispiel mit : Res = 14947 [Bq/kg]

$$A(y, Cs137) = 12544 \text{ [Bq/kg]} * 0,11$$

$$A(y, Cs137) = 1380 \text{ [Bq/kg]} \quad \leftarrow \text{scheinbare Cs-137 Aktivität, gemessen nach der y-Messmethode}$$

=====

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

Z0 (Zählerstand Nulleffekt)

und

Zp (Zählerstand Probenmessung)

angenommen.

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

$$\mathbf{sa = \sqrt{sp^2 + s0^2} * F} \quad ; \quad \begin{array}{l} s0 = \text{zufälliger Messfehler von R0} \\ sp = \text{zufälliger Messfehler von Rp} \\ F = \text{Kalibrierfaktor} \end{array}$$

$$s0 = 0,71 * \sqrt{Z0} / T0$$

$$sp = 0,71 * \sqrt{Zp} / Tp$$

(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.) :

$$F = 1000 * 295 / 50$$

$$Z_0 = 264461 \quad T_0 = 4348 \text{ Minuten}$$

$$Z_p = 84702 \quad T_p = 1340 \text{ Minuten}$$

-->

$$s_0 = 0,71 * \text{SQRT}(264461) / 4348$$

$$s_0 = 0,08$$

$$s_p = 0,71 * \text{SQRT}(84702) / 1340$$

$$s_p = 0,15$$

$$s_a = \text{SQRT}(0,08^2 + 0,15^2) * 5900$$

$$s_a = \pm 0,17 * 5900$$

$$\mathbf{s_a = \pm 1003 [Bq/kg]}$$

=====

Rechenbeispiel (passend zu Abschnitt 1.1.2.) :

Der zufällige Messfehler **sRes** der Restaktivität ergibt sich aus der Quadratwurzel der Summe der Quadrate des Messfehlers **sa** sowie des Messfehlers der Aktivität aus dem Kaliumnachweis **sK40**. Angenommen es sei der zufällige Messfehler **sK40** aus dem Kaliumnachweis vernachlässigbar gering (**sK40=0**) , dann vereinfacht sich wie folgt :

$$s_{\text{Res}} = \text{SQRT}(s_a^2 + s_{\text{K40}}^2) \quad ; \quad s_{\text{K40}} = 0$$

==>

$$s_{\text{Res}} = s_a$$

$$\mathbf{s_{\text{Res}} = \pm 1003 [Bq/kg]}$$

=====

Rechenbeispiel (passend zu Abschnitt 1.1.3.) :

Der zufällige Messfehler **sA(y,Cs137)** der scheinbaren Cs137-Aktivität **A(y,Cs137)** ergibt sich aus der Multiplikation des zufälligen Messfehlers **sRes** der Restaktivität **Res** mit dem passenden nuklidspezifischen Multiplikationsfaktor **MF** :

$$\mathbf{sA(y,Cs137) = s_{\text{Res}} * MF(Cs137) \quad ; \quad MF(Cs137) = 0,11}$$

$$\mathbf{sA(y,Cs137) = s_{\text{Res}} * 0,11}$$

$$\mathbf{sA(y,Cs137) = \pm 1003 [Bq/kg] * 0,11}$$

$$\mathbf{sA(y,Cs137) = \pm 110 [Bq/kg]}$$

=====

(Änderungen vorbehalten)

Letzte Text-Änderung :

München den 26.11.2015

Autor : Chetan Reinhard ; Josephsburgstr. 38 ; 81673 München ; Tel.: 089-432703

email : chetan@t-online.de