

Bedienungsanleitung zum Endfenster-Zählrohr Typ B

Inhaltsübersicht

1. Dosisleistungsmessungen mit dem Zählrohr Typ B	Seite 2
2. Statistischer Messfehler	Seite 2
3. Nachweisgrenze (NWG)	Seite 3
4. Kontaminationsmessungen	Seite 4
5. Messungen in Flüssigkeiten	Seite 5
6. Messung von Kalium-40 im Kaffee, Tee, Kakao usw.	Seite 5
7. Noch etwas Theorie	Seite 5
ANLAGEN	
Messtabelle	Seite 7
Handhabung der Messtabelle	Seite 8
Hinweise zur Handhabung der Mess-Sonden	Seite 9



1. Dosisleistungsmessungen mit dem Zählrohr Typ B

Das Zählrohr Typ B ist ein Kombinationszählrohr, d.h. es ist für viele Anwendungsbereiche einsetzbar. Bei der Verwendung des Zählrohres Typ B für Dosisleistungsmessungen, muss die Schutzhülse des Zählrohres, die für Kontaminationsmessungen abgenommen wird, auf dem Zählrohr bleiben, um die BETA-Strahlung abzuschirmen. Dosisleistungsmessungen sind Messung der GAMMA-Strahlung (energiereiche elektromagnetische Wellen), wobei die oft gleichzeitig auftretende ALPHA- und BETA-Strahlung (Partikelstrahlung) abzuschirmen ist.

Die Strahlendosis wird in Rem und neuerdings in Sievert (Sv) angegeben, wobei

$$100 \text{ Rem} = 1 \text{ Sv} \quad \text{bzw.} \quad 1 \text{ Rem} = 0,01 \text{ Sv} \text{ entsprechen.}$$

Bei dem Zählrohr Typ B entsprechen

$$\mathbf{8 \text{ Impulse in der Minute (lpm)} = 120 \text{ mrem/a} \quad (\text{Millirem pro Jahr})}$$

Dies bedeutet: $120 \text{ mrem/a} : 8 = 15$

d. h. **1 lpm bei dem Zählrohr B entspricht somit 15 mrem/a**

Man muss die gezählten Impulse pro Minute mit dem Faktor 15 multiplizieren, um so die Strahlendosis in Millirem pro Jahr zu errechnen. Bei Umrechnung auf 1 Stunde muss der Jahresdosiswert durch 8.500 geteilt werden. In der Strahlenmesstechnik sind 8.500 Stunden die Jahresstundenbasis und nicht 8.640 oder 8.760 Stunden, die man bei genauerer Berechnung ermitteln kann.

BEISPIEL: Bei einer 10-Minuten-Messung werden 800 Impulse gezählt. Umgerechnet auf 1 Minute entspricht dies 80 Impulsen.

$$80 \text{ lpm} \times \text{Faktor } 15 = 1.200 \text{ mrem/a} \quad \text{bzw.} \quad 12 \text{ mSv/a}$$

$$1.200 \text{ mrem} : 8.500 = 0,142 \text{ mrem/h} \quad \text{bzw.} \quad 0,00142 \text{ mSv/h} \quad (\text{h} = \text{pro Stunde})$$

Da 120 mrem/a der üblichen Hintergrundstrahlung entspricht (B

RD), ist somit die Strahlenbelastung 10mal so hoch wie der Normalwert. Sofern die radioaktive Strahlung mehr als 40mal so hoch ist, wird in der Regel Schutzkleidung empfohlen.

2. Statistischer Messfehler

120 mrem/a bzw. 1,2 mSv/a ist die übliche Hintergrundstrahlung (Sonnen- u. Erdstrahlung) in der BRD, die regional allerdings schwanken kann. Die übliche Hintergrundstrahlung einer Region bzw. eines Messplatzes kann man ermitteln, in dem man das Strahlenmessgerät 2 Stunden laufen lässt, ohne dass eine künstliche radioaktive Strahlenquelle in der Nähe ist. Die registrierte Impulszahl wird auf die Minute umgerechnet (durch 120 teilen). Dieser Wert (lpm) ist dann die sogenannte Nullrate. Bei Messungen sind nur Messwerte, die über der Nullrate liegen, ein Hinweis, dass eventuell eine radioaktive Strahlenbelastung vorliegt.

Alle Messungen sind mit einem statistischen Messfehler behaftet. Das ist durch die Tatsache bedingt, dass radioaktive Strahlung zeitlich und räumlich nicht konstant, sondern unterschiedlich in Intervallen auftritt.

Der Messfehler errechnet sich aus der Wurzel der gezählten Impulse:

$$\text{Messfehler in \%} = \frac{100}{\sqrt{N}} \quad (\mathbf{N} = \text{Summe der gezählten Impulse})$$

Dies bedeutet, dass der Messfehler mit zunehmender Impulszahl abnimmt. Mit anderen Worten, je länger die Messung, umso genauer ist die Messung. So hat z.B. eine Messreihe von 100 Impulsen einen Messfehler von 10 %, bei 1.000 Impulsen sind das nur noch 3,2 % und bei 10.000 Impulsen 1 %..

Bei Lebensmittelkontrollen ist grundsätzlich eine Mindestmessdauer von 10 Minuten zu empfehlen. Erfahrungsgemäß liegt bei 10-Minuten-Messungen und bei einer Nullrate von 8 lpm der Toleranzwert bei 11 lpm (8 + 3), d.h. nur die Impulse über 11 pro Minute resultieren aus einer zusätzlichen Strahlenbelastung.

Sollte die ermittelte Nullrate nicht 8 sondern z.B. bei 10 liegen, dann ist der Toleranzwert 13 (10 + 3) - siehe Abschnitt über die Nachweisgrenze.

3. Nachweisgrenze (NWG)

Die Nachweisgrenze eines Messgerätes errechnet sich wie folgt:

$$\text{NWG} = 3 \sqrt{\text{Nullrate}}$$

Bei dem Zählrohr B beträgt die Nachweisgrenze bei einer Messung von 1 Minute 8,5 Impulse, somit würde der Toleranzwert 16,5 Impulse betragen:

$$\text{NWG} \quad 3 \times \sqrt{8} = 3 \times 2,828 = 8,49 \text{ lpm (Impulse in der Minute)} = \text{gerundet } 8,5 \text{ lpm}$$

$$8 + 8,5 = 16,5 \text{ lpm Toleranzwert} \quad (\text{Nullrate} + \text{NWG})$$

Bei einer 10-Minuten-Messung sinkt die Nachweisgrenze:

$$8 \text{ lpm Nullrate} \times 10 \text{ Minuten} = 80 \text{ Impulse}$$

$$3 \times \sqrt{80} = 3 \times 8,94 = 26,8$$

$$26,8 : 10 \text{ Minuten} = 2,68 \text{ lpm (NWG)}$$

$$80 + 27 = 107 \text{ Impulse Nachweisgrenze bei 10 Minuten, bzw. } 8 + 2,7 = 10,7 \text{ lpm}$$

$$\text{gerundet } \mathbf{11 \text{ lpm}} \quad (\mathbf{11 \text{ Impulse in der Minute}} = \text{Toleranzwert bei dem Zählrohr B bei einer 10-Minuten-Messung})$$

Wie man aus den Beispielen ersehen kann, steigt die Messgenauigkeit mit der Messdauer. Die Messdauer muss notfalls verlängert werden, wenn eine 10-Minuten-Messung kein befriedigendes Ergebnis zeigt.

Auf die Messtabelle im ANHANG angewendet ergibt sich für Cs-137 folgende Berechnungen, nach Korrektur der Impulswerte (mit Faktor 10 multipliziert) bei Verwendung von des Zählrohrs B als Tauchsonde:

$$273 \text{ lpm (27,3 x 10) entsprechen} = 100 \text{ Bq Cs-137}$$

8,5 lpm (NWG) entsprechen somit:

$$100 \text{ Bq} : 273 \times 8,5 = 3,1 \text{ Bq Cs-137}$$

Bei einer 10 Minuten-Messung beträgt die NWG 2,7 lpm. Auf die Messtabelle (Cs-137) angewendet, ist dies

$$100 \text{ Bq} : 273 \times 2,7 = 0,99 \text{ Bq Cs-137}$$

Mit anderen Worten, das Zählrohr B kann bei Verwendung als Tauchsonde und einer Messdauer von einer Minute ab 3 Bq Cs-137 nachweisen, bei einer Messdauer von 10 Minuten ist dies bereits ab 1 Bq möglich. Für die Hochrechnung auf 1 kg müssen diese Werte mit dem Faktor 40 multipliziert werden, da die Tauchsonde nur in 1 - 2 cm Abstand die Strahlung erfasst, was in der Regel 20 - 30 Gramm entspricht.

4. Kontaminationsmessungen

Für Kontaminationsmessungen müssen Zählrohre die BETA-Strahlung erfassen können. Deshalb ist bei Kontaminationsmessungen das Zählrohr B ohne Schutzhülle einzusetzen. Weiterhin wird die Kontamination in Becquerel (Aktivität) gemessen und nicht in Rem oder Sievert (Dosis der Strahlung).

Bei Oberflächenmessungen werden Sonden mit Endfenster bevorzugt. Wenn aber nicht ausdrücklich die ALPHA-Strahlung zu messen ist, bzw. kein ALPHA-Strahler vorliegt, sind Tauchsonden einzusetzen. Diese sind einfacher in der Handhabung und wesentlich robuster. Bezüglich der Empfindlichkeit erzielen diese Tauchsonden bessere Ergebnisse als Endfenstersonden, sofern diese als Tauchsonden zum Einsatz kommen.

Bei Lebensmittelkontrollen empfehlen wir, außer den 10-Minuten-Messungen, das Zählrohr B als Tauchsonde einzusetzen, weil durch den Geometriefaktor (Rundumaufnahme der Strahlung) eine höhere Zählausbeute ermöglicht wird. Die zu prüfende Probe sollte zermahlen und getrocknet werden, und zwar 100 Gramm Trockenmasse. Der Trockenvorgang kann im Backofen oder im Mikrowellenherd erfolgen. Vor dem Trocknen ist die Probe zu wiegen, da die gemessene Strahlung in Relation zum Normalgewicht zu setzen ist.

Wie bereits erwähnt, liegt der Toleranzwert bei einer 10-Minuten-Messung bei 11 lpm. D.h. werden bei einer 10-Minuten-Messung maximal 110 Impulse angezeigt, liegt der Wert noch innerhalb der zulässigen Toleranz. Liegt die gemessene Impulszahl nach 10 Minuten über 110 Impulsen, dann entspricht jeder zusätzliche Impuls 20 Bq/kg!

Diese Berechnung ist eine Faustregel, die je nach Nuklid max. +/- 30 % schwanken kann. Der ermittelte Messwert bezieht sich auf das Normalgewicht der Probe, sofern die Probe künstlich getrocknet wurde. Handelt es sich um trockenes Schüttgut, z.B. Kaffee, Tee, Kakao, Drogen aller Art, Milchpulver usw., dann bezieht sich der gemessene Wert immer auf 1 kg. Die Sonde erfasst ohnehin nur die Strahlung von max. 1 - 2 cm Entfernung, egal ob die Sonde in einem 100 l Fass oder in einem 100 Gramm Behälter steckt.

BEISPIEL: Bei einer 10-Minuten-Messung werden 150 Impulse gezählt. Die Nullrate liegt bei 8 lpm und somit sind bei einer 10-Minuten-Messung 110 Impulse noch innerhalb der Toleranz. Jeder Impuls darüber bedeutet 20 Bq nicht natürliche Strahlenbelastung:

$$150 \text{ Impulse} - 110 \text{ Toleranzwert} = 40 \text{ Impulse}$$

$$40 \text{ Impulse} \times 20 \text{ Bq} = 800 \text{ Bq/kg}$$

Diese 800 Bq müssen als Mindestwert der Strahlenbelastung angesehen werden, da der Toleranzbereich (80 - 110 Impulse bei einer 10-Minuten-Messung) auch noch einen Anteil Strahlenbelastung enthält, der aber nicht genau zu ermitteln ist, da dieser außerhalb der Nachweisgrenze liegt. Im Grunde liegt die Strahlenbelastung zwischen 800 und 1.400 Bq/kg.

5. Messungen in Flüssigkeiten

Bei Messungen in Flüssigkeiten gelten andere Gesetze, da Flüssigkeiten bzw. der mehr oder weniger große Wasseranteil der Probe, die Strahlung abschirmt (absorbiert). Das Zählrohr kann deshalb diese Strahlung, wenn überhaupt, nur teilweise erfassen.

Durch Hochkonzentrieren der Proben, in dem der Wasseranteil verdunstet wird, werden die Messergebnisse besser. Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass im Wasser und in ähnlichen Flüssigkeiten nur 10 % der tatsächlichen Strahlung erfasst werden kann.

Das Zählrohr B kann für Flüssigkeitsmessungen eingesetzt werden. Die Spitze der Sonde und der Kunststoffgriff ist wasserdicht und abwaschbar, mit ca. 8 cm Eintauchtiefe.

Bei dem Kombinations-Zählrohr Typ B liegt die Nachweisgrenze in 100 ml unkonzentrierter Flüssigkeit mit Cäsium-137

bei einer Messzeit von 10 Minuten bei 93 Bq Cäsium-137
und bei einer Messzeit von 20 Minuten bei 65 Bq Cäsium-137.

Dies entspricht 930 Bq, bzw. 650 Bq auf einen Liter. Bessere Ergebnisse sind entweder durch eine längere Messzeit oder durch eine empfindlichere Sonde (FSZ) zu erzielen.

6. Messung von Kalium-40 im Kaffee, Tee, Kakao usw.

Bei Messungen im Kaffee, Tee, Kakao, Tabak, also vorwiegend in allen industriell angebauten Produkten, wird man bei der Verwendung des Zählrohres B als Tauchsonde eine erhöhte Strahlung feststellen. Bei dieser Strahlung handelt es sich um das natürliche Radionuklid Kalium-40. Pro Gramm Kalium werden 32,5 Bq emittiert und zwar

BETA-Strahlung mit max. 1.312 keV zu 89,3 % und (keV = Kiloelektronenvolt)

GAMMA-Strahlung mit 1.461 keV zu 10,7 %.

Zum Vergleich: Cäsium-137 → BETA-Strahlung mit 514 keV und
→ GAMMA-Strahlung mit 662 keV.

Kalium ist etwa zu 20 % im Dünger enthalten und wird demzufolge auch entsprechend in den Pflanzen eingelagert. Nach Ansicht der Medizin und den zuständigen Behörden ist dies nicht gefährlich, weil überschüssiges Kalium im Körper wieder kurzfristig abgebaut und ausgeschieden wird.

Das Zählrohr B als Tauchsonde zeigt die Strahlung mit 0,8 lpm pro 100 Bq an! (10-Minuten-Messung)!

Wenn Sie z.B. Kaffee-Pulver messen und nach 10 Minuten 140 Impulse feststellen, bei einer Nullrate von 8 lpm (x 10 Minuten = 80), dann sind 60 Impulse zu viel und liegt auch deutlich über der Toleranzschwelle von 11 bzw. 110 Impulsen. Wenn

0,8 lpm, bzw. 8 Impulse in 10 Minuten = 100 Bq K-40

entsprechen, dann entsprechen 60 Impulse

$$100 \text{ Bq} : 8 \times 60 = 750 \text{ Bq K-40}$$

$$\text{bzw. } \frac{100}{0,8} \times 6 = 750 \text{ Bq K-40}$$

Im gefriergetrockneten Kaffee-Extrakt wird man in etwa die doppelte Strahlung feststellen.

Das eingelagerte Kalium ist wasserlöslich. Wenn Sie Zweifel haben, ob es sich bei der vorhandenen Strahlung tatsächlich um K-40 handelt, dann brühen Sie das Kaffee-Pulver (oder Tee) und messen dann den Satz vom Kaffee, Tee oder was es sonst sein mag. Natürlich muss dieser vorher getrocknet werden, damit dieser in etwa die gleiche Konsistenz hat wie das Kaffeepulver oder Tee vor dem Brühen.

Sie werden nun feststellen, dass im Kaffeersatz oder Teersatz usw. keine Strahlung mehr registriert werden kann. Falls doch, dann handelt es sich nicht um K-40!

ANLAGE

Messtabelle

Bei dieser Messtabelle wurden Eichstrahler von 6 verschiedenen Nukliden, die bei möglichen Störfällen in Kernkraftwerken freigesetzt werden können, angesetzt, und zwar Eichstrahler mit 100 Bq und 1.000 Bq. Aus der Messzeit von 10 Minuten wurden die Impulse pro Minute angegeben, wobei die Nullrate der Zählrohre abgezogen wurde. Es handelt sich somit um die Netto-Impulsrate (ohne Hintergrundstrahlung). Für diese Messung wurde ein Abstand von 30 mm gewählt. Kleinere Abstände ergeben eine höhere Impulsrate und größere Abstände eine entsprechend niedrigere Zählausbeute.

Faustregel: Die Strahlung nimmt mit der Entfernung zur Strahlungsquelle im Quadrat ab.

NUKLID	ENDFENSTERZÄHLROHRE		TAUCHZÄHLROHRE	
	Typ A	Typ G	Typ B	Typ FSZ
100 Bq	- lpm -			
J-131	26,2	63	13,5	27,5
Cs-137	35,6	143	27,3	52,3
Sr-90	36,0	155	29,1	59,0
Sr-90+ Y-90	84,6	363	100,3	203,4
Uran	15,9	64	28,9	57,0
Thorium	19,3	74	31,2	62,1
1.000 Bq	- lpm -			
J-131	262	626	135	275
Cs-137	356	1431	273	523
Sr-90	360	1550	291	590
Sr-90 +Y-90		846	3630	1003 2034
Uran	159	638	289	570
Thorium	193	744	312	621

Erläuterungen zur Handhabung der Messtabelle

Wie man feststellen kann, verhalten sich die Impulse der Zählrohre zu den Becquerelwerten proportional, mit anderen Worten, die höheren Impulsraten bedeuten höhere Becquerelwerte. Somit sind Rückschlüsse auf andere Messungen möglich.

Ist z.B. ein bestimmter Gegenstand auf Kontamination mit Cäsium_137*** zu überprüfen, sollte eine 10-Minuten-Messung in 30 mm Abstand zur Probe durchgeführt werden. Das auf 1 Minute umgerechnete Ergebnis kann dann mit Hilfe der Messtabelle umgerechnet werden.

BEISPIEL: Eine 10-Minuten-Messung an einer Probe mit Cäsium-137 mit dem Zählrohr Typ G zeigt nach Ablauf der Messzeit einen Messwert von 500 Impulsen. Nach Umrechnung auf 1 Minute ($500 : 10 = 50$ lpm) und nach Abzug der Nullrate (8 lpm) verbleibt noch eine Nettoimpulsrate von 42 lpm. In der Messtabelle stehen bei 100 Bq Cs-137 in der Spalte für das Zählrohr Typ B: 27,3 lpm. Somit entsprechen 42 lpm

$$100 \text{ Bq} : 27,3 \times 42 = 153,8 \text{ Bq}$$

Sofern die Probe z.B. 5 Gramm wiegt, ist dieser Wert auf 1 kg hochzurechnen

$$153,8 \text{ Bq} : 5 \times 1000 = 30.760 \text{ Bq/kg}$$

Die Erfahrung zeigt, dass die Voraussetzungen einer Messung in der Praxis mit denen der Messtabelle oft nicht übereinstimmen. Bei Oberflächenmessungen mit dem Endfensterzählrohren Typ A oder G wird oft ein kürzerer Abstand gewählt, in der Regel 5 mm, um auch noch die ALPHA-Strahlung messen zu können. Bei einem Abstand von 5 mm ist die Impulszahl 5mal höher als in der Messtabelle angegeben. Das bedeutet, vor der Umrechnung ist der entsprechende Wert in der Messtabelle mit dem Faktor 5 zu multiplizieren. Somit würden 136,5 lpm ($27,3 \times 5$) 100 Bq entsprechen. Umgerechnet auf die obigen 42 lpm wären das ($100 : 136,5 \times 42$) nur noch **30,7 Bq Cs-137**.

Die Tauchzählrohre B und FSZ werden in der Regel nicht nur für Oberflächenmessungen eingesetzt. Als Tauchsonden sind diese viel leistungsfähiger. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen muss in diesem Falle der Wert in der Messtabelle sogar mit dem Faktor 10 multipliziert werden. D.h. die

100 Bq Cs-137 würden beim Zählrohr B 273 lpm ($27,3 \times 10$) entsprechen.

Somit entsprechen 42 lpm Nettoimpulsrate ($100 \text{ Bq} : 273 \times 42 =$) **15,38 Bq Cs 137**

***Es ist davon auszugehen, dass bestehende Kontaminationen in Europa, als Folge der Katastrophe von Tschernobyl, fast nur noch auf das Nuklid Cäsium-137 zurückzuführen sind.

Hinweise zur Handhabung der Mess-Sonden B und FSZ bei Messungen in der Umwelt, bzw. im mobilen Einsatz

Grundsätzlich wurde die Messtabelle (S. 8) angefertigt um festzustellen, ob die Zählrohre eichfähig bzw. kalibrierfähig sind.

Im mobilen Einsatz des Messgerätes, außerhalb des Labors, wird man kaum solch reine Nuklide antreffen. Die Messtabelle gilt mehr für pädagogische Zwecke an Gymnasien und Universitäten, wo mit entsprechenden Nukliden gearbeitet wird. Nicht vermischte oder abgeschirmte Nuklide dürfte man im mobilen Einsatz (Umwelt) kaum antreffen.

Wir haben deshalb Gutachten in Auftrag gegeben, in denen Messungen durchgeführt wurden, die mehr der Realität im mobilen Einsatz entsprechen. So wurde eine Versuchsanordnung geschaffen, bei der das Tauchzählrohr Typ B und FSZ sowohl als Flächenzählrohr (Oberflächenmessung) als auch als Tauch- Sonde eingesetzt wurde.

1. Das Messobjekt war Tee, das mit Cäsium 137 und Cäsium 134 kontaminiert wurde. Zuerst wurde festgestellt, welche Menge Tee durch die Tauchsonde messbar ist, d.h. eine Kontamination nachgewiesen werden kann. Es hat sich herausgestellt, dass 35.5 g Tee das Optimum ist. Bei größerer Menge Tee kann die Strahlung durch die Tauchsonde nicht mehr erfasst werden. Das ist wichtig für die Hochrechnung auf 1 kg. Das bedeutet, der gemessene Wert der Strahlung muss mit 28 multipliziert werden, um den Wert für 1 kg zu erhalten.

Diese Hochrechnung ist bei allen handelsüblichen mobilen Strahlen-Messgeräten üblich und notwendig, weil die üblichen Vergleichswerte sich auf die Aktivität der Masse pro kg beziehen. Die Tee-Probe mit 35.5 g war mit 749,9 Becquerel Cs-137 und mit 87,4 Becquerel Cs-134 kontaminiert – Gesamtaktivität somit 837,3 Becquerel.

Bei dem Einsatz der Zählrohren B und FSZ als Tauchsonden wurden bei dem kontaminierten Tee folgende Netto-Impulsraten (ohne Nullrate) bei den Zählrohren B und FSZ gemessen:

$$\text{Typ B} = 92,2 \text{ lpm} \pm 2,5 \qquad \text{Typ FSZ} = 176,2 \text{ lpm} \pm 3,4$$

lpm = Impulse pro Minute. Somit entspricht bei dem Zählrohr B 1 lpm ($837,3 : 92,2$) 9 Becquerel. Auf 1 kg hochgerechnet sind das (9×28) 252 Becquerel

Bei dem Zählrohr FSZ entspricht 1 lpm ($837,3 : 176,2$) 4,75 Becquerel. Somit auf 1 kg hochgerechnet sind das ($4,75 \times 28$) 133 Becquerel

Das ist auch jeweils die Nachweisgrenze dieser Mess-Sonden bei dem Einsatz als Tauchsonde!

2. Einen weiteren Mess-Aufbau erfolgte für Messungen in Flüssigkeiten mit den beiden Tauchsonden.

Cäsium 137 wird in einer 50 ml Lösung aufgelöst, die mit 55500 Becquerel (1,5 μ Ci) markiert war. Die Messungen erfolgten durch Eintauchen der Mess-Sonden in die kontaminierte Flüssigkeit.

Bei dem Zählrohr B wurde eine Netto-Impulsrate von 1.591,7 lpm gezählt. Bezogen auf die 55500 Gesamtaktivität sind das 34,86 Bq pro lpm ($55000 : 1.591,7$). Bezogen auf einen Liter ($\times 20$) sind das 697 Bq/Liter.

Hinweise zur Handhabung der Mess-Sonden B und FSZ

Bei dem Zählrohr FSZ wurde eine Netto-Impulsrate von 3.297,2 Imp gemessen. Bezogen auf die 55000 Gesamtaktivität sind das 16,83 Bq pro lpm. Auf ein Liter hochgerechnet ($\times 20$) sind das 336 Bq/Liter.

Solche Messungen sind besonders bei Lebensmittel mit hohem Flüssigkeitsanteil von Bedeutung.

Je nach Konsistenz der zu messenden Probe (unterschiedlichen Flüssigkeitsanteil) können die Werte schwanken. Umso geringer der Flüssigkeitsanteil, umso niedriger die Nachweisgrenze. Flüssigkeit hat einen besonders hohen Strahlen abschirmenden Effekt (Selbstabsorption). Die Messwerte dürfen bei dem Zählrohr FSZ zwischen 4,45 Bq pro lpm (trockenes Schüttgut) und 16.8 Bq pro lpm (reiner Flüssigkeit) liegen.

Abweichende Messwerte können auch durch Schwankungen der Hintergrundstrahlung verursacht werden, die durch unterschiedliche Wetterbedingungen (Windrichtung) bedingt sein können. Eine Toleranz bis $\pm 20\%$ sind bei Messungen der radioaktiven Strahlung im mobilen Einsatz üblich, unabhängig von der Bauart der Messgeräte.

Wir dürfen darauf hinweisen, dass für diese Mess-Werte jeweils Gutachten vorliegen, die von der Technischen Universität Darmstadt – Institut für Kernchemie – erstellt wurden. Für die Messungen wurden Präparate zu Kontamination der Proben von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig verwendet.

3. In einer weiteren Versuchsanordnung wurden die beiden Mess-Sonden für Oberflächenmessungen eingesetzt – einmal mit einem Abstand von 3 cm und in einer weiteren Versuchsanordnung werden die Sonden direkt auf die kontaminierte Tee-Probe aufgelegt. Es handelt sich einmal um die gleiche kontaminierte Tee-Probe wie unter Punkt 1 und um eine weitere kleinere Tee-Probe von 4.53 g, die breitflächig aufgetragen wurde. Diese kleiner Probe ist mit 94,4 Bq Cs-137 und mit 12,5 Bq Cs-134 kontaminiert, also insgesamt 106,9 Bq.

3.1 Es wurden bei dem Zählrohr folgende Netto-Impulsraten gemessen:

a) Kleine Tee-Probe (4,53 g):	Netto-Impulsrate direkt an der Oberfläche	18,1 lpm \pm 1,1
Mess-Sonde B	Netto-Impulsrate mit 3 cm Abstand	2,9 lpm \pm 0,6
b) Große Tee-Probe (35,5 g):	Netto-Impulsrate direkt an der Oberfläche	39,3 lpm \pm 1,6
Mess-Sonde B	Netto-Impulsrate mit 3 cm Abstand	13,9 lpm \pm 1,5
a) Kleine Tee-Probe (4,53 g):	Netto-Impulsrate direkt an der Oberfläche	31,4 lpm \pm 1,4
Mess-Sonde FSZ	Netto-Impulsrate mit 3 cm Abstand	6,2 lpm \pm 0,9
b) Große Tee-Probe (35,5 g):	Netto-Impulsrate direkt an der Oberfläche	69,5 lpm \pm 2,1
Mess-Sonde FSZ	Netto-Impulsrate bei 3 cm Abstand	28,6 lpm \pm 1,6

Die deutlich niedrigere Zählausbeute (Empfindlichkeit) bei Oberflächenmessungen zeigen dass die Mess-Sonden B und FSZ als Tauchsonden bevorzugt einzusetzen sind. Mit zunehmenden Abstand von der Strahlenquelle sinkt die Zählausbeute (Empfindlichkeit) erheblich.

Faustregel: Mit zunehmendem Abstand von der Strahlenquelle sinkt die Strahlung im Quadrat.