

# B e d i e n u n g s a n l e i t u n g

zum Endfenster-Zählrohr Typ A

## Inhaltsübersicht

1. Dosisleistungsmessungen mit dem Zählrohr Typ A	Seite	2
2. Statistischer Messfehler	Seite	2
3. Nachweisgrenze	Seite	3
4. Kontaminationsmessungen	Seite	4
5. KC1-Prüfstrahler	Seite	4
6. Differenzierung von Strahlungsarten	Seite	4
7. Noch etwas Theorie	Seite	5

## ANLAGE

Seite 1 M e s s t a b e l l e

Seite 2 H a n d h a b u n g d e r M e s s t a b e l l e



## Bedienungsanleitung zum Zählrohr Typ A

Seite 2 von 8

### 1. Dosisleistungsmessungen mit dem Zählrohr Typ A

Das Zählrohr Typ A wird eigentlich für Kontaminationsmessungen an der Oberfläche eines Objektes verwendet, kann aber auch für Dosisleistungsmessungen eingesetzt werden. Bei der Verwendung des Zählrohres Typ A für Dosisleistungsmessungen muss der Schutzdeckel, der das Endfenster des Zählrohres schützt, auf dem Zählrohr bleiben, um die ALPHA- und BETA-Strahlung abzuschirmen.

Dosisleistungsmessungen sind Messungen der GAMMA-Strahlung (energiereiche elektromagnetische Wellen), wobei die oft gleichzeitig auftretende Partikelstrahlung (ALPHA- + BETA-Strahlung) zu unterdrücken ist, da diese das Ergebnis verfälschen. Die Strahlendosis wird in Rem und neuerdings in Sievert (Sv) angegeben, wobei

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

Bei dem Zählrohr A entsprechen

$$\underline{20 \text{ Impulse in der Minute (Ipm)} \quad 150 \text{ mrem/a (Millirem pro Jahr).}$$

Das bedeutet

$$\underline{120 \text{ mrem/a} : 20 = 6 \text{ mrem/a}} \quad - \quad \text{somit entspricht}$$

**1 Ipm bei diesem Zählrohr 6 mrem/a**

Man muss die gezählten Impulse pro Minute mit dem Faktor 7,5 multiplizieren, um so auf die Strahlendosis in Millirem pro Jahr zu errechnen. Bei Umrechnung auf 1 Stunde, muss der Jahresdosiswert durch 8.500 Stunden geteilt werden. In der Strahlenmesstechnik ist die Jahresstundenbasis 8.500 Stunden und nicht die 8640 Std. bei 360 Tage oder 8760 Stunden bei 364 Tagen.

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

$$80 \text{ Ipm} \times \text{Faktor } 6 = 480 \text{ mrem/a} \quad \text{bzw.} \quad 4,8 \text{ mSv/a}$$

$$480 \text{ mrem/a} : 8.500 = 0,057 \text{ mrem/h} \quad \text{bzw.} \quad 0,00057 \text{ mSv/h.}$$

Da 120 mrem/a der üblichen Hintergrundstrahlung entspricht (BRD), ist somit die Strahlenbelastung 4 mal höher als der Normalwert. Wenn die Strahlenbelastung mehr als 40mal höher ist, wird zur Sicherheit eine 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 (Ipm) 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.

## Bedienungsanleitung zum Zählrohr Typ A

Der Messfehler errechnet sich aus der Wurzel der gezählten Impulse:

$$\text{Messfehler in \%} = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

(N = 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 Mindestmesszeit von 10 Minuten zu empfehlen. Bei 10-Minuten-Messungen und bei einer Nullrate von 20 Ipm, liegt der Toleranzwert bei 25 Ipm (20 + 5), d.h. nur die Impulse über 25 pro Minute resultieren aus einer zusätzlichen Strahlenbelastung. Liegt eine Messreihe sehr nahe an der Grenze zum statistischen Messfehler, dann ist die Messreihe mit längerer Messzeit zu wiederholen oder einem empfindlicheren Zählrohr (Typ G) zu wiederholen.



### 3. Nachweisgrenze (NWG)

Die Nachweisgrenze (NWG) eines Messgerätes errechnet sich wie folgt:

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

Bei dem Zählrohr A (Nullrate = 20) beträgt die Nachweisgrenze bei einer Messung von einer Minute 13,5 Impulse, somit würde der Toleranzwert 33,5 Impulse betragen:

$$3 \times \sqrt{20} = 3 \times 4,473 = 13,42 \text{ Impulse (NWG)}$$

$$20 + 13,5 = \mathbf{33,5 \text{ Ipm}}$$
 Toleranzwert nach einer Minute

Bei einer 10-Minuten-Messung sinkt die Nachweisgrenze:

$$20 \text{ Impulse Nullrate} \times 10 \text{ Minuten} = 200 \text{ Impulse}$$

$$3 \times \sqrt{200} = 3 \times 14,14 = 42,4 : 10 \text{ Minuten} = \mathbf{4,24 \text{ Ipm (NWG)}}$$

$$200 + 42,4 = 242,4 \text{ Impulse bzw. } 20 + 4,24 = \mathbf{24,24 \text{ Ipm}}$$
 Toleranzwert für Zählrohr A nach 10 Minuten.

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. Bei der Berechnung des Toleranzwertes wurde aufgerundet, wie man feststellen kann.

Die errechnete Nachweisgrenze für das Zählrohr Typ A (Nullrate 20 Ipm) auf die Messtabelle angewendet. z.B. für Cs-137, zeigt folgendes Ergebnis:

$$\mathbf{35,6 \text{ Ipm}} \quad \text{entsprechen} \quad = \mathbf{100 \text{ Bq Cs-137}}$$

$$\mathbf{13,4 \text{ Ipm}} \quad \text{NWG entsprechen somit}$$

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \text{ Ipm} = 2,81 \times 13,4 \text{ Ipm} = \mathbf{37,65 \text{ Bq Cs-137}}$$

## Bedienungsanleitung zum Zählrohr Typ A

Nach einer 10-Minuten-Messung beträgt die Nachweisgrenze 4,24 Ipm. Auf die Messtabelle (Cs-137) angewendet sind das

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \text{ Ipm} = 2,81 \text{ somit sind } 2,81 \times 4,24 \text{ Ipm} = \mathbf{11,92 \text{ Bq Cs-137}}$$

Dies bedeutet, dass mit dem Zählrohr A bei einer Messdauer von einer Minute Cs-137 ab 38 Bq nachgewiesen werden kann und bei einer 10-Minuten-Messung bereits ab ca. 12 Bq.

### **4. Kontaminationsmessungen**

Für Kontaminationsmessungen müssen Zählrohre die BETA-Strahlung und eventuell noch ALPHA-Strahlung erfassen können. Kontaminationsmessungen werden grundsätzlich ohne Schutzdeckel durchgeführt, also mit offenem Endfenster. Das gilt auch für die Tauchsonden B und FSZ. Andernfalls ist die notwendige Nachweisempfindlichkeit nicht gewährleistet. Die Kontamination wird in Becquerel (Aktivität der Strahlung) gemessen und nicht in Rem oder Sievert (Energie der Strahlung).

Die zu prüfende Probe sollte zermahlen und getrocknet werden, bei dem Zählrohr A sind ca. 10 Gramm Trockenmasse ausreichend, da das Endfenster dieses Zählrohres relativ klein ist. 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 der Probe zu setzen ist.

Das offene Endfenster sollte möglichst nahe an die Probe herangeführt werden. Es ist aber ein Sicherheitsabstand von mindestens 5 mm zu wahren, damit das Endfenster durch Berührung selbst nicht kontaminiert wird. Für genaue Messungen wird ein Stativ notwendig sein, damit über 10 Minuten ein gleichmäßiger Abstand gewährleistet werden kann.

Wie bereits erwähnt, liegt der Toleranzwert bei einer 10-Minuten-Messung bei 25 Ipm. D.h. werden bei einer 10-Minuten-Messung maximal 250 Impulse angezeigt, liegt der Wert noch innerhalb der zulässigen Toleranz. Liegt die gemessene Impulszahl nach 10 Minuten über 250 Impulsen, dann kann man davon ausgehen, dass mit Überschreiten des Toleranzwertes bereits eine Kontamination von mindestens 600 Bq/kg vorliegt. Die Nachweisgrenze des Zählrohres Typ A, bei einem Abstand von 0,5 cm und einer Messzeit von 10 Minuten, liegt bei ca. 3 Bq. Rechnet man die Probe von 10 Gramm auf ein kg um ( $3 \text{ Bq} \times 100$ ) dann kommt man bereits auf 300 Bq/kg. Dieses ungenaue Ergebnis zeigt, dass das Zählrohr A eigentlich nur in Ausnahmefällen für Kontrollen von Lebensmittel zu verwenden ist. Genauere Ergebnisse sind durch längere Messzeiten oder durch empfindlichere Sonden, z.B. Zählrohr Typ G, zu erzielen – siehe Messtabelle in der Anlage.

Der ermittelte Messwert bezieht sich auf das Normalgewicht der Probe, sofern die Probe künstlich getrocknet wurde. Handelt es sich um trockene Proben, wie Kaffee, Tee, Drogen aller Art, Milchpulver, Mineralien, Sand, Baustoffe, Schrott usw., dann ist der ermittelte Wert auf 1 kg hochzurechnen, da Vergleichswerte meistens in kg angegeben werden. Durch die Umrechnung wird das Ergebnis ungenau sein, aber ob eine Kontamination über 600 Bq/kg vorliegt, kann man auf jeden Fall feststellen.

### **5. KCl-Prüfstrahler**

Die Geiger-Müller-Zählrohre haben erfahrungsgemäß eine Funktionsdauer von ca. 10 - 20 Jahren. Bei Einsatz unter starker Strahlung verkürzt sich die Lebensdauer, da sich das Löschgas im Zählrohr schneller verbraucht.

Nach jahrelangem Einsatz ist es zweckmäßig die Funktionsfähigkeit der Zählrohre überprüfen zu können. Wir bieten deshalb einen Prüfstrahler an, der an einer Oberfläche 12 Bq +/- 1 emittiert.

## Bedienungsanleitung zum Zählrohr Typ A

Seite 5 von 8

Es handelt sich um einen KCl-Pressling (5 Gramm), in dem eine natürliche Radioaktivität (K-40) von 85 Bq eingelagert ist, wovon aber nur 12 Bq an einer Oberfläche austreten, da die BETA-Strahlung durch Selbstabsorption weitgehend im Pressling bleibt.

Beim Zerfall des Kalium-40 wird zu 89,33 % BETA-Strahlung mit einer max. Energie von 1.312 keV freigesetzt und zu 10,67 % eine GAMMA-Strahlung mit 1.461 keV.

Die Kontrollmessung erfolgt bei geöffnetem Deckel, sowohl bei dem Präparat als auch bei dem Zählrohr. Das Endfenster des Zählrohres wird direkt über die Oberfläche des Präparates gehalten bzw. installiert (Stativ).

Beim Zählrohr A kann der Rand vor dem Endfenster aufgesetzt werden, weil das Endfenster etwas im Zählrohr versenkt ist. Beim Zählrohr G ist dagegen ein Abstand ca. 3 mm einzuhalten. Bei einem funktionsfähigen Zählrohr muss nach 10 Minuten der angezeigte Netto-Impulswert (nach Abzug der Nullrate) bei dem Zählrohr **Typ A bei 205 Impulse +/- 24 Impulse** liegen.

Die Kontrollwerte vom	<b>Zählrohr Typ G:</b>	<b>1054 Impulse +/- 41</b>
	<b>Zählrohr Typ B:</b>	<b>434 Impulse +/- 26</b>
	<b>Zählrohr Typ FSZ:</b>	<b>792 Impulse +/- 35</b>

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 65 % sollten alle gemessenen Impulsraten innerhalb der oben angeführten Bandbreite um den Kontrollwert liegen. Voraussetzung ist eine hinreichend genaue Ermittlung der Nullrate, die von der Gesamtimpulszahl abzuziehen ist, um die Nettoimpulsrate errechnen zu können. Erfahrungsgemäß steigt die Nullrate eines Zählrohres mit zunehmender Alterung.

### 6. Differenzierung der Strahlungsarten

Die Differenzierung der ALPHA-, BETA- und GAMMA-Strahlung ist bezüglich der ALPHA-Strahlung relativ leicht. Bei der ALPHA-Strahlung handelt es sich um zweifach positiv geladene Heliumkerne, die selbst in der Luft nur eine geringe Reichweite haben - max. 10 cm, in der Regel nicht weiter als 5 cm. Durch 2 Messungen mit den Endfensterzählrohren (A oder G) lässt sich der ALPHA-Anteil einer Strahlung ermitteln, in dem einmal eine Messung mit dem offenen Endfenster erfolgt und zum anderen eine Messung mit offenem Endfenster, das aber durch eine dünne Klarsichtfolie abgedeckt wurde. Die dünne Klarsichtfolie schirmt die ALPHA-Partikel ab, so dass die Differenz zwischen beiden Messungen dem Anteil der ALPHA-Strahlen entspricht. Wenn eine ALPHA-Strahlung vorliegt, dann muss die erste Messung, ohne die dünne Klarsichtfolie, entsprechend höher liegen. Der Abstand bei dieser Messung sollte 5 mm betragen. Die Trennung der BETA-Strahlung von der GAMMA-Strahlung ist nicht so einfach, da eine vollständige Abschirmung der BETA-Strahlung auch in den oberen Energiebereichen bereits ein Teil der GAMMA-Strahlung absorbiert. Die BETA-Strahlung, etwa bis 1,5 MeV, lässt sich, mit einem 4 mm dicken Plexiglas- bzw. Kunststoffscheibe oder 2 mm Aluminium abschirmen. In der Regel ist ein dickes Lineal oder Schutzdeckel des Zählrohres für die Abschirmung der BETA-Strahlung, für eine 3. Messung ausreichend. Somit entspricht die Differenz der 3. Messung zur 2. Messung den BETA-Anteil der Strahlung.

### 7. Noch etwas Theorie

Radioaktive Strahlenquellen werden in der Atomphysik als RADIO-NUKLIDE bezeichnet. Die Strahlungsenergie wird in Mega-Elektronen-Volt (MeV) oder in Kilo-Elektronen-Volt (keV) gemessen:

$$\begin{aligned} \text{MEGA} &= 1.000.000 = 10 \text{ hoch } 6 \\ \text{oder KILO} &= 1.000 = 10 \text{ hoch } 3 \end{aligned}$$

## Bedienungsanleitung zum Zählrohr Typ A

Dort wo diese Strahlung ankommt, wird diese in Sievert (Sv) oder in Rem gemessen, wobei

$$\begin{array}{lcl} 100 \text{ Rem} & = & 1 \text{ Sv} \\ 0,1 \text{ Rem} & = & 1 \text{ mSv} \end{array} \quad \text{oder} \quad \begin{array}{lcl} 1 \text{ Rem} & = & 0,01 \text{ Sv} \\ 0,1 \text{ mRem} & = & 1 \mu\text{Sv} \end{array}$$

Normale Hintergrundstrahlung (BRD) entspricht in der Regel

$$120 \text{ mRem/a} = 1,2 \text{ mSv/a} = 0,015 \text{ mRem/h} = 0,15 \mu\text{Sv/h}$$

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Zählausbeute (erfasste Impulse) bei einer Messung mit der Empfindlichkeit eines Geiger-Müller-Zählrohres ansteigt. Das gilt aber immer nur für ein bestimmtes Radio-Nuklid (Strahlenquelle), bzw. dessen Strahlungsenergie. Aus der Strahlungsenergie lässt sich die Durchdringungskraft (Reichweite) einer Strahlung ableiten. Ob die Strahlung von einem Zählrohr erfasst werden kann und somit messbar ist, hängt von der Strahlungsenergie des Nuklides und der Durchlässigkeit/Empfindlichkeit des Zählrohres (Endfenster) ab.

Die Strahlungsenergie eines Nuklides hat nichts mit dessen Aktivität zu tun (Zerfall pro Sekunde), die in Becquerel (Bq) gemessen wird. Das gilt auch für die Nachweisgrenze (NWG), die sich auf eine Mindestaktivität (Bq) der Strahlenquelle bezieht, die für deren Messbarkeit notwendig ist. Die Strahlungsenergie (keV) und deren Aktivität (Bq) sind zwei unterschiedliche Faktoren, die zusammen mit der Strahlungsart (ALPHA-, BETA- und GAMMA-Strahlung) die Strahlenbelastung verursachen.

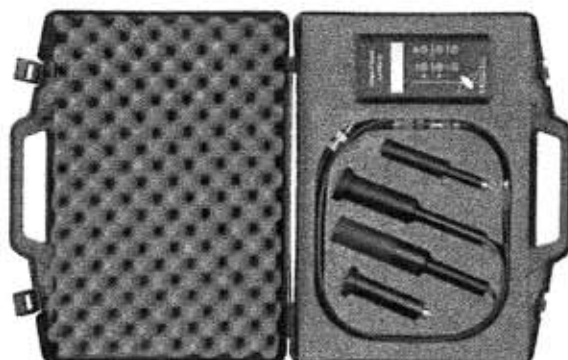
Dosimeter (Energiedosis) sind auf die Messung von GAMMA-Strahlen ausgelegt. Diese zeigen die Strahlung in Sievert (Sv) oder Rem an. Wesentlich empfindlicher müssen Kontaminationsmessgeräte sein. Diese müssen die BETA- und eventuell noch die ALPHA-Strahlung messen können. Bei den techn. Daten von Zählrohren ist jeweils auch die Strahlungsenergie angegeben, die notwendig ist, damit das Zählrohr die Strahlung erfassen kann (Qualitätsmerkmal). Die Endfensterzählrohre A und G können

z.B.	ALPHA-Strahlung	ab	1,90 MeV
	BETA-Strahlung	ab	0,09 MeV
und	GAMMA-Strahlung	ab	0,01 MeV

messen.

Die Tauchsonden B und FSZ können keine ALPHA-Strahlen erfassen und BETA-Strahlen ab 0,2 MeV und GAMMA-Strahlung ab 0,02 MeV.

Diesen Nachteil können die Tauchsonden durch den Geometriefaktor bei Tauchmessungen ausgleichen. Beim Eintauchen ist die strahlenaufnehmende Fläche der Sonde größer als bei Oberflächenmessungen. Bei einer Oberflächenmessungen nimmt das Zählrohr die Strahlung nur von einer Seite auf und auch der geringste Abstand führt zu Streuverlusten.



**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 Strahlenquelle im Quadrat ab.

NUKLID	ENDFENSTERZÄHLROHRE		TAUCHZÄHLROHRE	
	<u>Typ A</u>	<u>Typ G</u>	<u>Typ B</u>	<u>Typ FSZ</u>
<b><u>100 Bq</u></b>				
			- Ipm -	
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
<b><u>1.000 Bq</u></b>				
			- Ipm -	
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 A zeigt nach Ablauf der Messzeit einen Messwert von 500 Impulsen.  
Nach Umrechnung auf 1 Minute ( $500 : 10 = 50$  Ipm) und nach Abzug der Nullrate (20 Ipm) verbleibt noch eine Nettoimpulsrate von 30 Ipm.  
In der Messtabelle stehen bei 100 Bq Cs-137 in der Spalte für das Zählrohr Typ A: 35,6 Ipm.  
Somit entsprechen 30 Ipm

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \times 30 = \mathbf{84,3 \text{ Bq}}$$

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

$$84,3 \text{ Bq} \times 200 = \mathbf{16.860 \text{ Bq/kg}}$$

Die Erfahrung zeigt, dass die Voraussetzungen einer Messung in der Praxis mit denen der Messtabelle oft nicht übereinstimmen. Bei Oberflächenmessungen mit den Endfensterzählrohren Typ A oder G wird oft ein kürzerer Abstand gewählt, in der Regel 3-5 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 178 Ipm ( $35,6 \times 5$ ) 100 Bq entsprechen. Umgerechnet auf die obigen 30 Ipm wären das ( $100 : 178 \times 30$ ) nur noch 16,9 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 Ipm ( $27,3 \times 10$ ) entsprechen.

\*\*\*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.