

Dosimetrie und Strahlenschutz

1 Lernziele

Wechselwirkung von geladenen und ungeladenen Teilchen mit Materie, messtechnische Methodik des Strahlenschutzes, Kalibration von Messeinrichtungen, absolute Bestimmung der Aktivität, Bedeutung des Strahlenschutzes und objektive Beurteilung von diesbezüglichen Angaben, Entstehung der natürlichen Umgebungsstrahlung.

2 Vorbereitung

1. Entstehung von α -, β -, γ -Strahlung, insbesondere Zerfallsschema von ^{137}Cs
2. Wechselwirkungsprozesse von γ -Strahlung in Materie
3. Bedeutung des Massenschwächungskoeffizienten
4. Einheiten, Messgrößen und Grenzwerte des Strahlenschutzes
5. Biologische Wirkung von Strahlung
6. Zählrohr: Aufbau, Funktion, Kennlinie
7. Merkblatt K 0 zum Strahlenschutz.

3 Literatur

Zusammengefasst als Literaturliste im Praktikumsportal verfügbar:

1. Bundesamt für Strahlenschutz *Strahlung und Strahlenschutz*
2. G. Musiol, J. Ranft, R. Reif, D. Seeliger *Kern- und Elementarteilchenphysik*
3. G.F. Knoll *Radiation Detection and Measurement*
4. H.-G. Vogt, H. Schultz *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*;

4 Grundlagen

Eingehende Kenntnis des Strahlenschutzes ist eine der grundlegenden Anforderungen nicht nur in der Durchführung von kernphysikalischen Messungen wie z.B. im Grundpraktikum, an großen Beschleunigeranlagen oder auch im Betrieb von Kernkraftwerken, sondern vor allem im Bereich der medizinischen Diagnostik, in der objektiven Beurteilung einschlägiger Pressemitteilungen und des Einflusses ionisierender Strahlung durch die persönliche Lebensführung, wie z.B. durch das Rauchen.

Dieser Versuch soll vermitteln, welche Voraussetzungen für eine zuverlässige Bestimmung der Dosis erfüllt sein müssen und welche Messtechniken Anwendung finden, damit eine objektive Risikobeurteilung möglich ist.

Zunächst sind dabei zwei Punkte voneinander abzugrenzen: Die Wirkung ionisierender Strahlung auf biologisches Gewebe, dessen physikalische Eigenschaften in erster Näherung durch die des Wassers gut beschrieben werden, gehört wissenschaftlich eher in das Feld der Biologen und Mediziner. Die Konzeption und Entwicklung von zuverlässigen Messsystemen für den Strahlenschutz hingegen ist in erster Linie eine Aufgabe für Physiker und Ingenieure.

Eine wichtige Verbindungsgröße zwischen beiden „Welten“ ist die Dosisleistung

$$\dot{D} = \frac{d^2W}{dm dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d^2W}{dV dt} \quad . \quad (1)$$

Diese pro Zeit und Massen- bzw. Volumenelement deponierte Energie W ist ein Maß für die Wirkung ionisierender Strahlung auf Materie. Sie ist ihrerseits abhängig von der räumlichen Verteilung der Strahlungsteilchen und von den Eigenschaften der bestrahlten Materie. Also muss zur Bestimmung der deponierten Energie die räumliche, zeitliche und energetische Verteilung der Teilchen bekannt sein. Überlegen Sie, warum diese Anforderung in der Praxis nur sehr schwer zu erfüllen ist, und welche (besseren) Messgrößen es zur Beschreibung gibt.

Die Dosisleistung \dot{D} lässt sich für einen Raumpunkt mit Abstand r von einer Punktquelle aus deren Aktivität \dot{a} berechnen gemäß

$$\dot{D} = I_\gamma \cdot \frac{\dot{a}}{r^2} \quad . \quad (2)$$

Die Dosisleistungskonstante I_γ ist dabei gegeben durch

$$I_\gamma = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\mu_a}{\rho} \cdot E_\gamma \quad . \quad (3)$$

Man erkennt, dass I_γ abhängt von der Energie E_γ der γ -Quanten sowie vom totalen Massenabsorptionskoeffizienten μ_a/ρ des durchstrahlten Materials, der für Wasser in Abb. 1 als Funktion der Photonenenergie aufgetragen ist. Überlegen Sie sich, warum für die Berechnung der Dosisleistungskonstanten der totale Massenabsorptionskoeffizient maßgebend ist und nicht der totale Massenschwächungskoeffizient.

5 Versuchsbeschreibung

Zur Vereinfachung wird in diesem Versuch eine als punktförmig anzunehmende ^{137}Cs -Quelle zur Erzeugung des Strahlungsfeldes verwendet, so dass die räumliche und energetische Verteilung der Teilchen bekannt ist. Die zeitliche Verteilung wird im ersten Versuchsteil bestimmt. In Abbildung 1 ist die Geometrie des Versuchs schematisch dargestellt.

Die ^{137}Cs -Quelle strahlt infolge des radioaktiven Zerfalls der Atomkerne u.a. γ -Quanten der konstanten Energie E_γ isotrop in den Raum ab. Die zeitliche Verteilung der Zerfälle ist bestimmt durch die Anzahl der vorhandenen instabilen Atomkerne und die dazugehörige Halbwertszeit. Daraus ergibt sich die Aktivität $\dot{a}(t)$ des Präparats, die für ^{137}Cs auf Grund der großen Halbwertszeit für die gesamte Dauer des Praktikums als zeitliche Konstante \dot{a} betrachtet wird. Bestimmt man diese z.B. mit einem Zählrohr, so ist die gemessene Zählrate \dot{z} gegeben durch

$$\dot{z} = \frac{A}{4\pi r^2} \cdot f_A \cdot f_R \cdot f_S \cdot f_\tau \cdot f_U \cdot \varepsilon(E_\gamma, \dot{z}) \cdot \dot{a} \quad (4)$$

Dabei ist A die der Quelle zugewandte Querschnittsfläche des Detektors, r der Abstand des Detektors zur punktförmigen Quelle der Aktivität \dot{a} und $\varepsilon(E_\gamma, \dot{z})$ die von Energie und Zählrate abhängige Ansprechwahrscheinlichkeit. Woraus entstehen diese Abhängigkeiten? Was wird durch $4\pi r^2$ berechnet? Und wie ist $A/4\pi r^2$ zu interpretieren?

Die mit f bezeichneten Faktoren dienen der Korrektur auf die verschiedenen, das Ergebnis verfälschenden Einflüsse. Der Absorptionsfaktor f_A berücksichtigt die Absorption der Strahlung zwischen Quelle und empfindlichem Detektorvolumen, der Rückstrefaktor f_R die Rückstreuung an der Detektoroberfläche, der Selbstabsorptionsfaktor f_S die Absorption in der Quelle. Der Auflösungsfaktor f_τ korrigiert die infolge endlicher zeitlicher Auflösung entstehenden Zählverluste, und mit f_U werden Einstrahlungen aus der Umgebung erfasst, nicht jedoch der Effekt der natürlichen Radioaktivität.

Durch eine geschickte Wahl des Kalibrierverfahrens für den Messaufbau können diese Abhängigkeiten berücksichtigt und somit die Aktivitäten unbekannter ^{137}Cs -Präparate bestimmt werden.

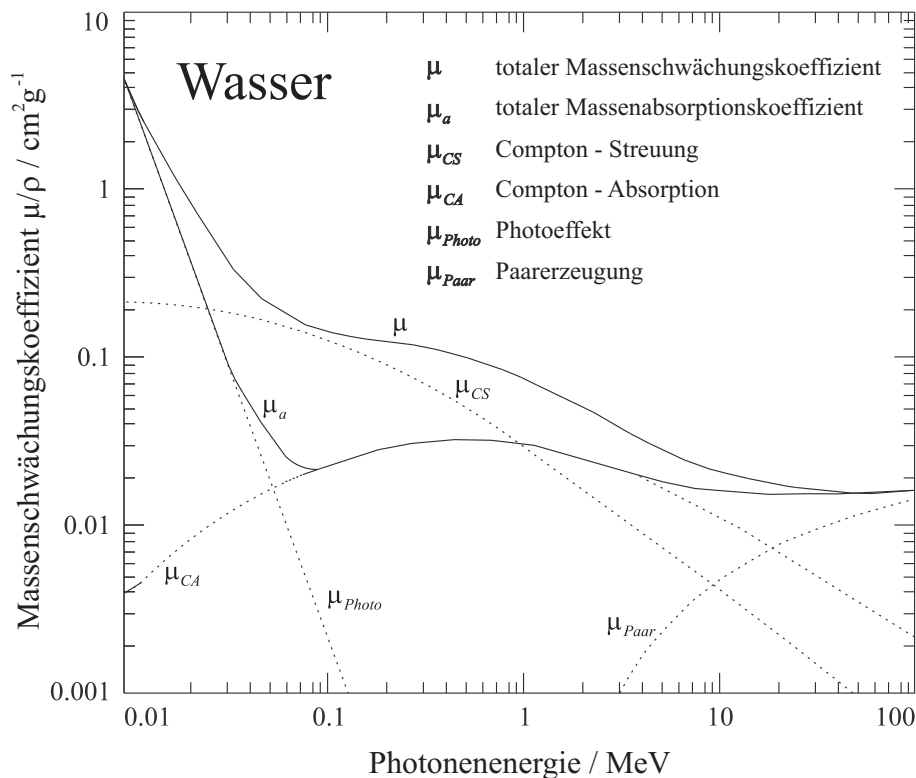


Abbildung 1: Massenabsorptionskoeffizient μ_a/ρ und Massenschwächungskoeffizient μ/ρ für Photonen in Wasser sowie die Zusammensetzung aus den Koeffizienten $\mu_a = \mu_{photo} + \mu_{CA} + \mu_{Paar}$ bzw. $\mu = \mu_a + \mu_{CS}$. Hierbei beschreibt μ_{photo} die Wahrscheinlichkeit für den Photoeffekt, μ_{CA} die für die Absorption von Compton-Elektron und -Quant und μ_{Paar} die Wahrscheinlichkeit für Paarbildung; μ_{CS} berücksichtigt diejenigen Prozesse, bei denen das beim Comptoneffekt erzeugte Quant hinausgestreut wird.

Für die Durchführung stehen zur Verfügung:

1. ^{137}Cs -Präparate mit unterschiedlichen Aktivitäten
2. Zählrohr und Ausleseelektronik
3. Dosisleistungsmessgerät

6 Hausaufgaben

Vorher zu Hause zu bearbeiten!

1. **Bau-/Umweltingenieurwiss./Geodäsie/Angew. Geowiss.:** Diskutieren Sie Anwendungen ionisierender Strahlung und des Strahlenschutzes in Ihrem jeweiligen Fachgebiet. Erste Hinweise für Ihre eigene Recherche können Sie der Literaturnappe zu diesem Versuch entnehmen.
2. Machen Sie sich die Bedeutung der einzelnen Kurven in Abb. 1 klar. Ermitteln Sie den totalen Massenabsorptionskoeffizienten in Wasser für γ -Strahlung mit $E_\gamma = 0.661$ MeV, wie sie als Folge des Zerfalls von ^{137}Cs frei wird. Berechnen Sie damit die Dosisleistungskonstante.
3. Berechnen Sie **zu Hause** die *aktuelle* Aktivität aller ^{137}Cs -Kalibrierquellen (Halbwertszeit: 30.1 Jahre, Fehler von \dot{a} : 3%).

Präparat I	\dot{a}_I	= 346 kBq	am 01.07.2020
Präparat II	\dot{a}_{II}	= 353 kBq	am 01.07.2020
Präparat III	\dot{a}_{III}	= 339 kBq	am 01.07.2020
Präparat IV	\dot{a}_{IV}	= 365 kBq	am 01.07.2020

4. Überlegen Sie sich ein Programm (Reihenfolge) für die folgenden Messungen, bei dem die Strahlenbelastung für Sie und für die Betreuer minimiert wird.

7 Messungen und Aufgaben

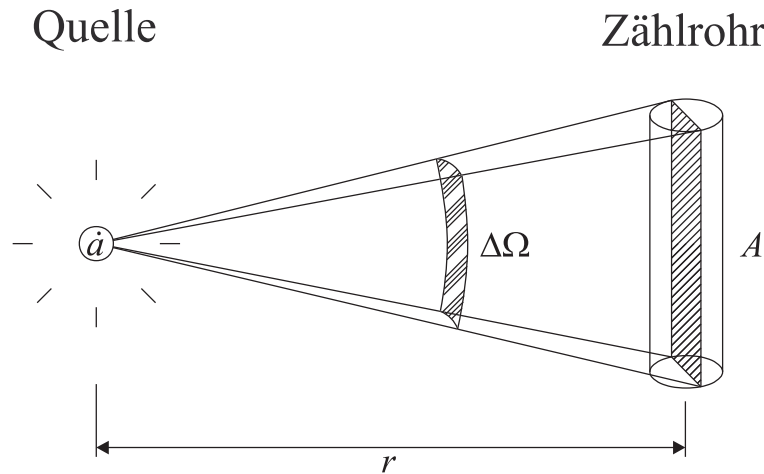


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus mit der Aktivität der Quelle $\dot{a} = N/t$ und dem Raumwinkel $\Delta\Omega$, in welchem die Strahlung auf die Querschnittsfläche A des Detektors im Abstand r fällt.

Aufgaben

- Der effektive Querschnitt $Q_{eff} = A \cdot \varepsilon$ ist nach Gl. (4) zu bestimmen: Wie groß ist die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohrs unter der Annahme, dass das Produkt der Faktoren f in Gl. (4) Eins ist?
- Bestimmen Sie die Aktivität \dot{a}' des *unbekannten* ^{137}Cs -Präparates.
- Berechnen Sie die Dosisleistung (in $\mu\text{Sv/h}$) im Abstand r nach Gl.(2) für das Präparat unbekannter Aktivität. ($r = 10\text{ cm}$ und $r = 20\text{ cm}$).
- Vergleichen Sie die Messwerte der gemessenen Dosisleistung mit denen von Ihnen aus der Aktivität rechnerisch ermittelten Werten. Wie erklären Sie den Unterschied der Messergebnisse?
- Schätzen Sie Ihre zusätzliche Strahlendosis während des Versuchs ab unter der Annahme, dass keine Bleiabschirmung vorhanden ist. Wie verhält sich dieser Wert zur Umgebungsstrahlung?

Messungen

- Messung der Untergrund-Zählrate (10 Minuten).
- Messen Sie die Zählrate \dot{z}' eines ^{137}Cs -Präparates *unbekannter* Aktivität. (Messdauer: 60 s; Abstand $r = 10\text{ cm}$).
- In einem bekannten Strahlungsfeld (Kalibrierquelle) ist die Zählrate im Detektor zu messen. (Messdauer: 60 s; Abstand $r = 10\text{ cm}$).
- Bestimmen Sie die Dosisleistung des Präparates unbekannter Aktivität mit dem Dosisleistungsmessgerät für $r = 10\text{ cm}$ und $r = 20\text{ cm}$, zur Lage des Zählrohrs bei der Abstandseinstellung beachten Sie die Hinweise des Assistenten. Dabei soll auch die Dosisleistung bei „offenem“ Zählrohr (Metallschieber hochdrücken) gemessen werden.

-
-
- **Hinweis:** Wenn Sie das Zählrohr zwischen zwei Messungen nicht verschoben haben, wird der Fehler der Abstandsmessung kompensiert. Was bedeutet dies für die Fehlerrechnung?