

## Physikalisches Anfängerpraktikum (P2)

# P2-80,82,84: Absorption radioaktiver Strahlung

Matthias Faulhaber

Matthias Ernst

Gruppe 19

---

Ziel des Versuchs ist das Verständnis, wie verschiedene Arten radioaktiver Strahlung mit Materie wechselwirken. Dabei wird zunächst das häufig eingesetzte Geiger-Müller-Zählrohr untersucht, anschließend die Absorption von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung.

## 0 Theoretische Grundlagen

### 0.1 Arten radioaktiver Strahlung, deren Herkunft und Wechselwirkung mit Materie

- $\alpha$ -Strahlung besteht aus zweifach positiv geladenen Helium-Kernen  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  und wird beim Zerfall eines Atomkerns freigesetzt:  ${}^O_p\text{X} \longrightarrow {}^{O-4}_{p-2}\text{Y}^{2-} + {}^4_2\text{He}^{2+} + \hbar\omega$ . Typischerweise ist sie wegen der beim Zerfall freigesetzten Energie mit der Emission von  $\gamma$ -Strahlung verbunden, die  $\alpha$ -Teilchen selbst weisen eine diskrete und für den jeweiligen Zerfall bzw. die Zerfallskette charakteristische Energie auf. Aufgrund der hohen Masse verlieren die  $\alpha$ -Teilchen ihre Energie beim Durchqueren von Materie sehr schnell, sie sind daher leicht abzuschirmen. Gelangen sie jedoch in einen Organismus, z.B. durch Einatmen oder Konsum radioaktiv kontaminierter Lebensmittel, haben sie aufgrund der hohen Energien und der Nähe zu den Zellen ein großes Gefährdungspotential.
- $\beta$ -Strahlung entsteht durch Umwandlung eines Neutrons in ein Proton, das im Kern verbleibt, und ein Elektron, das emittiert wird:  ${}^O_p\text{X} \longrightarrow {}^O_{p+1}\text{Y}^+ + {}^0_{-1}\text{e}^- + \bar{\nu}_e$ . Manchmal tritt im Gegensatz zur gerade beschriebenen  $\beta^-$ -Strahlung auch  $\beta^+$ -Strahlung auf, dabei wandelt sich ein Proton in ein Neutron unter Emission eines Positrons um:  ${}^O_p\text{X} \longrightarrow {}^O_{p-1}\text{Y}^- + {}^0_{+1}\text{e}^+$ . Bei beiden Arten des  $\beta$ -Zerfall entsteht noch ein weiteres Teilchen, ein Elektron-Antineutrino im Falle von  $\beta^+$ , ein Elektron-Neutrino im Falle von  $\beta^-$ . Dieses nimmt einen Teil der beim Zerfall freiwerdenden Energie auf, daher zeigen die  $\beta$ -Elektronen eine kontinuierliche Energieverteilung.  $\beta$ -Strahlung wirkt ionisierend und weist eine höhere Eindringtiefe als  $\alpha$ -Strahlung auf, Abschirmungen müssen daher dicker sein. Allerdings wird beim

Abbremsen der Elektronen Röntgenbremsstrahlung frei, die ebenfalls abgeschirmt werden muss.

- $\gamma$ -Strahlung ist elektromagnetische Strahlung und wird durch Abgabe von Energie diskreter Werten aus Atomkernen frei.  $\gamma$ -Strahlung tritt u.a. über den Photoeffekt oder den Comptoneffekt mit Materie in Wechselwirkung, ihre intensive Betrachtung war Gegenstand des letzten Versuchs und soll hier nicht wiederholt werden.

## 0.2 Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

Der schematische Aufbau eines des Geiger-Müller-Zählrohrs (im Folgenden „Geigerzähler genannt“) ist in Abb. 1 gezeigt. Hauptbestandteil des Geigerzählers ist eine gasgefüllte zylindrische Kammer, in deren Mitte ein dünner, von der Wandung isolierter Draht befestigt ist. Als Gas werden meist Edelgase verwendet, manchmal unter Zusatz organischer Materialien. Zwischen dem

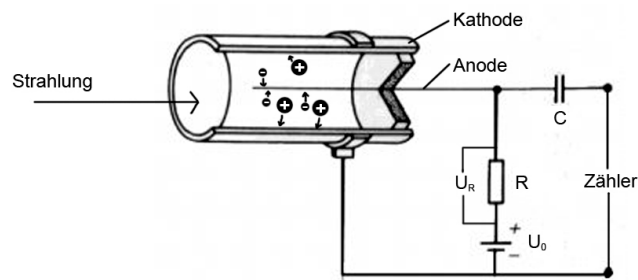


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs

Draht (Anode) und der Wandung (Kathode) liegt eine hohe Spannung an, sodass beim Eintritt von ionisierender Strahlung freigesetzte Elektronen zum Draht hin beschleunigt werden. Durch die Beschleunigung sind die Elektronen in der Lage, auf dem Weg zum Draht weitere Atome zu ionisieren und so eine Gasentladung zu erzeugen. Diese kann als Strom gemessen werden, entweder über einen Zähler oder z.B. als akustisches Signal, „Knacken“. Aufgrund des Widerstands bricht der Stromfluss jedoch bald zusammen, sodass anschließend weitere Ionen detektiert werden können. Die Zeit, die zwischen dem Einfall eines ionisierenden Teilchens und dem Zusammenbruch der Gasentladung vergeht, wird als Totzeit bezeichnet. Weitere ionisierende Teilchen können währenddessen nicht detektiert werden.

Die Empfindlichkeit eines Geigerzählers hängt von der Betriebsspannung ab. Trägt man die Zählrate bei konstanter Bestrahlung auf, so erhält man eine die

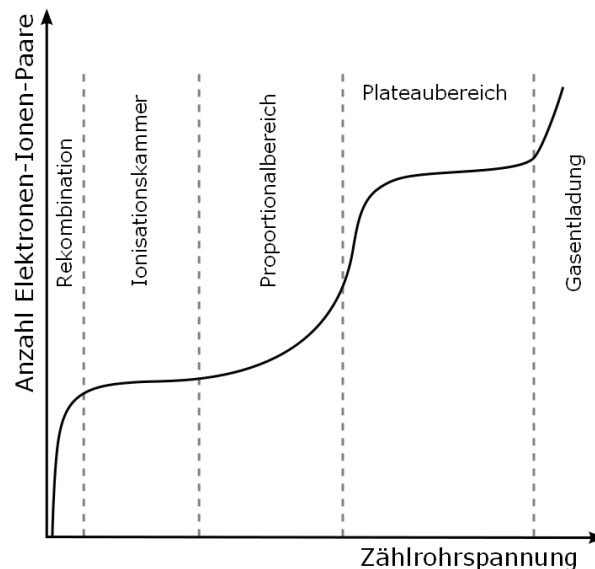


Abbildung 2: Kennlinie eines Geigerzählers

Kennlinie des Geräts, die schematisch in Abb. 2 dargestellt ist. Bei kleiner Spannung ist die Energie durch die Beschleunigung so klein, dass die Ionen (teilweise) wieder rekombinieren können. Ist die Spannung groß genug, handelt es sich um eine Ionisationskammer, alle Primärelektronen erreichen die Anode. Erhöht man dann die Spannung, so ist diese zur Energie der einfallenden Teilchen proportional. Ein im Proportionalbereich betriebenes Zählrohr ist also in der Lage, die Energie radioaktiver Strahlung zu messen. Meist betreibt man Geigerzähler jedoch bei höherer Spannung im Plateaubereich. Hier ist die Spannung so groß, dass jedes einfallende ionisierende Teilchen unabhängig von seiner Energie eine Kaskade von Sekundärelektronen auslöst. Die Anzahl Entladungen bleibt über einen gewissen Bereich der angelegten Spannung nahezu konstant, weshalb die Betriebsspannung von Geigerzählern meist in der Mitte des Plateaubereichs liegt. Bei höheren Spannungen tritt eine fortwährende Gasentladung ein. Dabei kann das Zählrohr beschädigt oder gar zerstört werden.

## 1 Durchführung

### 1.1 Eigenschaften des Geiger-Müller-Zählrohrs

#### 1.1.1 Messung der Einsatzspannung und des Plateaus

Mit einem  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Präparat wird zunächst in groben, dann in feineren Schritten der Spannung die Kennlinie ermittelt. Gemessen wird die Zählrate als Funktion der Spannung mithilfe des CASSY Lab-Systems, als Intervallzeit werden 100ms und als Laufzeit 2min verwendet. Insbesondere soll der Plateaubereich gefunden und vermessen werden, um die Arbeitsspannung für die weiteren Messungen zu finden. Üblicherweise liegt diese in der Mitte des Plateaubereichs.

#### 1.1.2 Messung des Nulleffekts

Um die ständig natürlich auftretende Radioaktivität zu messen, wird die Zählrate ohne Probe. Um statistische Abweichungen zu minimieren wird dies mehrfach wiederholt, bei der Auswertung der folgenden Messungen muss der Nulleffekt berücksichtigt werden. Die Zählrate wird 160mal für jeweils 5s gemessen.

#### 1.1.3 Messung der Totzeit

Es werden zwei Präparate verwendet. Es wird jeweils einzeln und einmal mit beiden Präparaten zusammen die Zählrate  $\frac{N}{T}$  bestimmt, die etwa  $300\text{s}^{-1}$  bei einer Messzeit von  $T \approx 2\text{min}$  betragen soll (der Abstand vom Präparat zum Zählrohr ist entsprechend anzupassen). Die Totzeit  $\tau$  kann aus den drei gemessenen Zählraten nach folgender Formel bestimmt werden:

$$\tau = \frac{T}{N_{12}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(N_1 + N_2 - N_{12})N_{12}}{N_1 N_2}} \right) \quad (1)$$

#### 1.1.4 Überprüfung des Abstandsgesetzes

Das Abstandsgesetz besagt, dass die Intensität von  $\gamma$ -Strahlung für punktförmige Strahlenquellen mit dem Quadrat der Entfernung abfällt. Dies wird überprüft, indem 100mal die Zählrate einer Gammaquelle bei verschiedenen Abständen gemessen wird.

## 1.2 Untersuchung der Absorption von $\alpha$ -Strahlung

Die Zählrate wird bei Verwendung einer  $\alpha$ -Quelle in verschiedenen Abständen zum Zählrohr gemessen. Zunächst wird der Abstand in kleinen, dann in größeren Schritten variiert, bis die Zählrate schließlich in den Bereich des Nulleffekts kommt.

## 1.3 Untersuchung der Absorption von $\beta$ -Strahlung

Unter Verwendung einer  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Quelle wird die Absorption von  $\beta$ -Strahlung in Absorberplättchen unterschiedlicher Dicke aus Aluminium gemessen. Dabei werden wegen der zu erwartenden exponentiellen Abhängigkeit zunächst kleine Schritte in der Dicke der Plättchen gemacht, später größere. Das zu erwartende Abstandsgesetz ist  $N(d) = n(0)e^{-\mu d}$  mit dem Absorptionskoeffizienten  $\mu$ . Der Zusammenhang zwischen der Energie und der Reichweite kann mittels der empirischen Flammersfeld-Beziehung berechnet werden:

$$W = 1,92\sqrt{R^2\rho^2 + 0,22R\rho} \quad (2)$$

Für die Form der Absorptionskurve monoenergetische  $\beta$ -Strahlung erwartet man nach einem schwach abfallenden Anfangsteil einen langen Bereich linearer Abhängigkeit der Absorption von der Dicke und einen flachen Ausläufer (s. W. Stolz, Radioaktivität, 5. Aufl., Teubner, S. 103).

## 1.4 Untersuchung der Absorption von $\gamma$ -Strahlung

### 1.4.1 Absorption in Blei, Massenabsorptionskoeffizient

Unter Verwendung einer  $^{60}\text{Co}$ - und einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle wird die Absorption von  $\gamma$ -Strahlung in Blei untersucht. Das Vorgehen ist analog wie in Abschnitt 1.3. Aus dem Absorptionkoeffizienten  $\mu$  kann der Massenabsorptionkoeffizient  $k = \mu/\rho$  mit der Dichte  $\rho$  des Absorbers berechnet werden.

### 1.4.2 Vergleich des Absorptionsvermögens verschiedener Absorbermaterialien

Der Absorptionskoeffizient verschiedener Materialien wird bestimmt und verglichen. Dafür müssen die verwendeten Plättchen dieselbe Dicke aufweisen.

## Anhang

### Quellenangaben

- Abb. 1 ist der Versuchsvorbereitung von Christian Benz zum Versuch P-80,82 aus dem Sommersemester 2005 entnommen, es ist zu finden auf <http://christianbenz.de/index.pl?d/studium/p2/p2-80#p2-80ca>.
- Abb. 2 entstammt dem Artikel „Geigerzähler“ der deutschsprachigen Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Geigerz%C3%A4hler>.