

# **Radioaktivität**

## **Die natürlichste Sache der Welt**

### **Inhalt**

#### **1 Was ist Radioaktivität?**

**1.1 Aufbau und Systematik von Atomkernen**

**1.2 Zerfallsarten**

**1.3 Geiger-Müller-Zählrohr**

**1.4 Grundsätze des Strahlenschutzes**

#### **2 Experiment**

**2.1 Bestimmung der Nullrate**

**2.2 Untersuchung der Radioaktivität verschiedener Stoffe**

**2.3 Abschirmung von Kernstrahlung**

**2.4 Abhängigkeit der Strahlung vom Winkel und vom Magnetfeld**

**2.5 Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom Abstand**

**2.6 Bestimmung der Halbwertsdicke von Blei**

#### **3 Quellen**

# Radioaktivität

## Die natürlichste Sache der Welt

### 1.1 Aufbau und Systematik von Atomkernen

1886 wurde von dem französischen Physiker Henri Becquerel bei der Untersuchung von Uransalzen zufällig die Radioaktivität entdeckt. Er stellte fest, dass lichtempfindliche, fotografische Materialien, welche mit schwarzem Papier verpackt waren, durch die von den Uransalzen unbekannte Strahlung belichtet wurden. Ausgehend von Becquerels Entdeckungen untersuchten das Ehepaar Marie und Pierre Curie in systematischer Kleinarbeit alle damals bekannten Elemente auf Radioaktivität. Es gelang ihnen die damals noch unbekannten Elemente Radium und Polonium aus Pechblende zu isolieren. Diese beiden Elemente fielen durch ihre extrem hohe Strahlung auf. Um 1900 wurde festgestellt, dass die  $\beta$ -Strahlung aus Elektronen und die gamma-Strahlung aus sehr energiereicher Wellenstrahlung besteht. Durch spektroskopische Untersuchungen wurde von Rutherford und Geiger 1908 gezeigt, dass es sich bei ungeladenen  $\alpha$ -Teilchen um Helium handelt.

Um 1911 führte Ernest Rutherford Streuexperimente mit  $\alpha$ -Teilchen an Goldfolien durch und konnte somit experimentell belegen, dass im Atomkern Protonen vorhanden sein müssen. 1932 wurde vom britischen Physiker Chadwick die Neutronen entdeckt, die neben den Protonen den Atomkern bilden und im Gegensatz zu den Protonen keine Ladung besitzen. Atomkerne sind somit aus Protonen und Neutronen, den so genannten Nukleonen aufgebaut. Protonen und Neutronen haben in etwa die gleiche Masse. Ein Atomkern der Massenzahl A und der Ordnungszahl Z besteht somit aus Z Protonen und  $A-Z=N$  Neutronen. Durch die Angabe von der Massenzahl A und der Ordnungszahl Z am Elementsymbol werden die Kerne eindeutig bezeichnet.

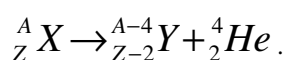
$${}^A_Z X, \text{ z.B.: } {}^1_1 H, {}^4_2 He, {}^{12}_6 C$$

Neben den Elementen gibt es auch Isotope. Isotope unterscheiden sich von den betreffenden Elementen nur in der Massenzahl, also in der Anzahl der Neutronen. Die Kernladungszahl bleibt gleich.

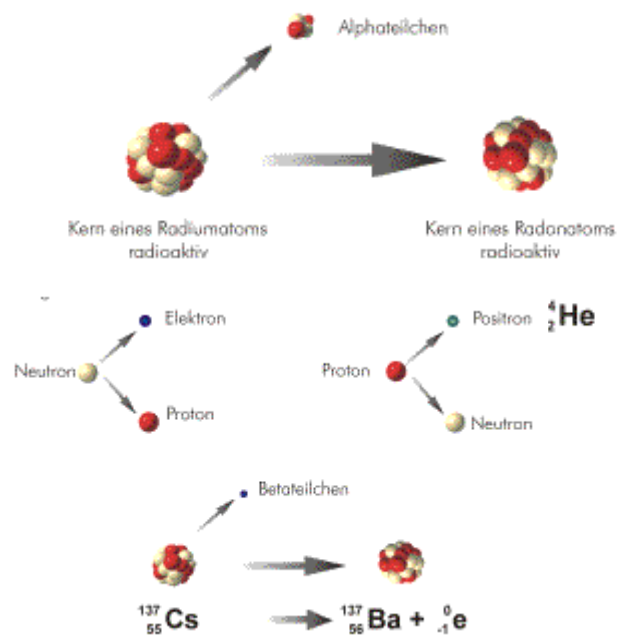
$$\text{Beispiele: } {}^{235}_{92} U, {}^{238}_{92} U$$

### 1.2 Zerfallsarten

Es wurde schon erwähnt, dass es drei verschiedene Zerfallsarten gibt; den  $\alpha$ -,  $\beta$ -, und  $\gamma$ -Strahlung. Beim  $\alpha$ -Zerfall wird vom Atomkern ein Heliumkern emittiert. Dadurch ändert sich die Kernladungszahl um 2 und die Massenzahl um 4. Die Zerfallsgleichung lautet:

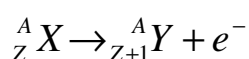


Der Zerfall von Radium zu Radon ist beispielhaft in der Abbildung<sup>1</sup> gezeigt.



Bei der Emission eines  $\beta$ -Teilchens findet ebenfalls eine Kernumwandlung statt.  $\beta$ -Teilchen sind Elektronen, die durch Umwandlung eines Neutrons in ein Proton entstehen. Dadurch bleibt die Massenzahl A konstant, während sich die Ordnungszahl um eins erhöht.

Die Zerfallsgleichung lautet:



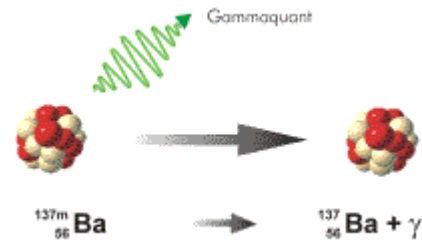
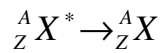
<sup>1</sup> Quelle dieser und weiterer Abbildungen:

<http://zope.reaktor.fh->

[furtwangen.de/portal/natural\\_sciences/nuclear\\_sciences/lecture%201%20radiation%20physics/grundlagen\\_strahl\\_enphysik/strahlungsarten.html](http://furtwangen.de/portal/natural_sciences/nuclear_sciences/lecture%201%20radiation%20physics/grundlagen_strahl_enphysik/strahlungsarten.html)

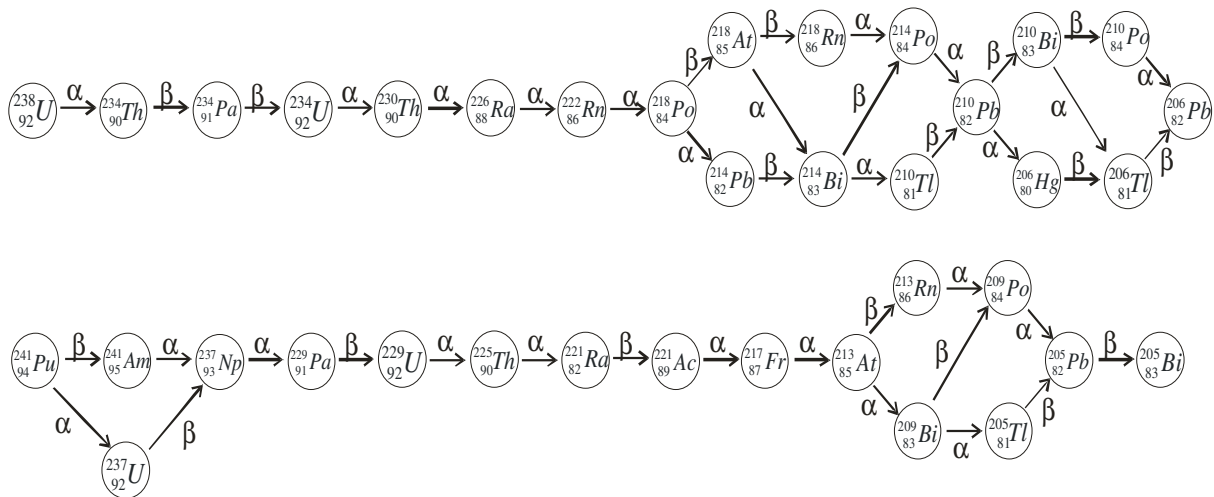
Bei der  $\gamma$ -Strahlung findet keine Änderung bezüglich der Massenzahl und Ordnungszahlen statt.

Die Zerfallsgleichung<sup>2</sup> lautet:



Die  $\gamma$ -Strahlung tritt meistens gemeinsam mit dem  $\alpha$ -,  $\beta$ - Zerfall auf. Nach einem  $\alpha$ -,  $\beta$ - Zerfall findet eine Umstrukturierung der Neutronen und Protonen im Kern statt, wodurch der Kern in einen energieniedrigeren Zustand übergeht. Die freigewordene Energie wird in Form von  $\gamma$ -Strahlung abgegeben.

Kerne, die in irgendeiner Weise zerfallen, werden als instabil bezeichnet. Instabile Kerne zerfallen in der Regel nicht gleich in einen stabilen Kern, sondern in einen ebenfalls instabilen Kern usw. Es entsteht somit eine Reihe in sich umwandelnder Kerne. Solche Reihen werden als Zerfallsreihen bezeichnet. Am Ende einer solchen Zerfallsreihe steht ein stabiler Kern. Beispiele solcher Reihen sind die Uran-Radium-Reihe und die Plutonium-Neptunium-Reihe:



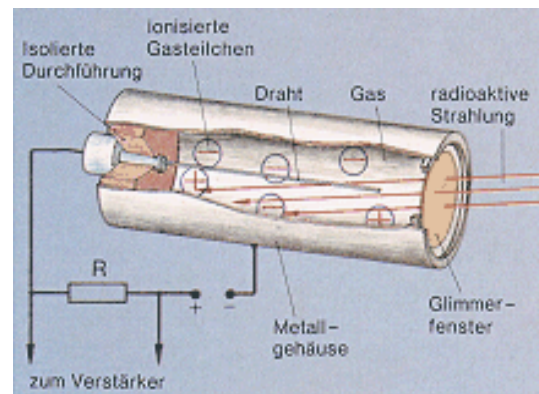
Dies ist der Grund, warum die meisten radioaktiven Präparate Mischstrahler sind, also alle drei Strahlungsarten emittieren.

Das Ziel einer Zerfallsreihe ist somit den instabilen Mutterkern in einen stabilen Endkern zu überführen. Die Endkerne weisen ein besonderes Verhältnis von Neutronen und Protonen auf, welche für den Kern energetisch günstig ist.

<sup>2</sup> Beim  $\gamma$ -„Zerfall“ zerfällt eigentlich gar nichts. Es handelt sich vielmehr um den Übergang eines Atomkerns von einem angeregten Zustand auf den Grundzustand (bzw. einen energetisch niedrigeren Zustand).

### 1.3 Geiger-Müller-Zählrohr

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht im Wesentlichen aus einem dünnen Draht, der als Anode und einem Zylindermantel, der als Kathode dient. Zwischen Zylindermantel und dem Draht liegt eine Spannung von einigen hundert Volt an. Der Zylinder ist gasdicht verschlossen und mit einem Edelgas gefüllt. Die  $\alpha$ -Strahlen und ein großer Teil der  $\beta$ -Strahlen können nur durch das Glimmfenster in das Zählrohrinnere gelangen. Jedes in das Rohr eindringende Teilchen einer ionisierenden Strahlung setzt in der Gasfüllung Ionen frei, die zum positiven Draht (Anode) wandern. In dem starken elektrischen Feld in der Umgebung des Drahtes lösen sie durch Stoßionisation eine Ionenlavine aus. Durch das Zählrohr fließt ein Strom, der am Widerstand einen Spannungsabfall bewirkt. Immer, wenn ein  $\alpha$ - oder  $\beta$ - Teilchen in das Zählrohr eindringt, entsteht ein kurzer Stromstoß – ein Impuls. Dieser wird verstärkt und kann durch einen Lautsprecher akustisch wahrgenommen oder an einem Messgerät angezeigt werden.



Auch ein Teil der  $\gamma$ -„Teilchen“ kann mit einem Zählrohr nachgewiesen werden. Die meisten durchdringen das Zählrohr jedoch, ohne eine Reaktion auszulösen. Für uns genügt die Nachweisrate jedoch, um einige wichtige Eigenschaften der Gamma-Strahlung messen zu können.



### 1.4 Grundsätze des Strahlenschutzes



Der für die Versuche vorgesehene  $^{226}\text{Ra}$ -Strahler, liegt mit seiner Aktivität von 3,3 kBq (Die Einheit der Aktivität ist Becquerel (Bq); dies sind Zerfälle pro Sekunde) unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) definierten Freigrenze. Damit ist der Strahler für Schülerexperimente zugelassen, dennoch müssen die folgenden Strahlenschutzgrundsätze eingehalten werden, was nur durch einen umsichtigen Umgang mit dem Strahler erreicht werden kann.

Wegen der Gefahren muss mit strahlenerzeugenden Einrichtungen und radioaktiven Stoffen besonders sorgfältig umgegangen werden. Die wichtigsten Grundsätze des Strahlenschutzes sind (28 StrSchV):

- Jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden und
- Jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik unter Berücksichtigung aller umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerten so gering wie möglich zu halten.

Die Hauptschutzmaßnahmen gegen eine äußere Bestrahlung sind:

- **eine möglichst gute Abschirmung**
- **ein möglichst großer Abstand von der Strahlenquelle**
- **eine möglichst kurze Aufenthaltsdauer im Bereich der Strahlung**
- **In der Nähe der Strahlenquelle wird nicht gegessen, getrunken und geraucht!  
Nach Beendigung des Experimentierens sind die Hände zu waschen!**

**Anm.: Es ist gut, sich IMMER an diese Grundsätze des Strahlenschutzes zu halten!**  
Es sei allerdings angemerkt, dass der von uns verwendete Strahler nur eine sehr geringe Intensität hat und außerdem „geschlossen“ ist – eine Gefährdung von Personen ist daher nahezu ausgeschlossen!

## 2 Die Experimente

### 2.1 Bestimmung der Nullrate

**Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung:**

- Zählerrohr an das Messgerät anschließen und einschalten
- Anzeige löschen mit „0“-Taste.
- Messung mit „Start“ beginnen und „Stopp“ beenden
- Die Messzeit beträgt 60 Sekunden
- Die Messungen sind dreimal zu wiederholen

**Messwerte und Auswertung:** Aus den drei Messungen wird der Mittelwert berechnet.

Nummer der Messung	1	2	3
Zählrate $N_0$			
Mittelwert $N_0$			

**Aufgabe:** Warum ist eine Mittelung der Messwerte sinnvoll?

Nullrate für 60 Sekunden:  $N_0^{60s} = \text{Imp.} / 60s$

Nullrate für 20 Sekunden:  $N_0^{20s} = \text{Imp.} / 20s$

### 2.2 Untersuchung der Radioaktivität verschiedener Stoffe

**Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung:**

- Zählrohr und Messgerät bereit machen
- Nacheinander die Gegenstände mit dem Zählrohr ausmessen (der Glühstrumpf und der Stein dürfen nur durch den Betreuer ausgemessen werden)
- Messzeit 20 Sekunden

**Messwerte und Auswertung:**

Gegenstand	Glühstrumpf	Keramiktopf	Stein	Uhr
Zählrate $N$				
$N - N_0$				

**Aufgabe:** Was fällt auf?

### 2.3 Abschirmung von Kernstrahlung

**Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung:**

- Zählrohr und Strahler in die Experimentierplatte stellen und auf einen Abstand von ca. 1cm bringen
- Zwischen Zählrohr und Strahler werden verschiedene Materialien (Papier, Aluminium, Blei) gestellt
- Schichtdicke der Absorptionsmaterialien von schrittweise um 2mm erhöhen.
- Messung 20 Sekunden laufen lassen, Zählrate ablesen und in Tabelle eintragen
- Nullrate von der gemessenen Zählrate abziehen und in die Tabelle eintragen

**Messwerte und Auswertung:**

Fertigen Sie ein Diagramm  $N(d)$  an.

# Bögen	Papier		d	Aluminium		Blei	
	N(#)	N(#) - N <sub>0</sub>		N(d)	N(d) - N <sub>0</sub>	N(d)	N(d) - N <sub>0</sub>
0			0mm				
1			2mm				
2			4mm				
3			6mm				
5			8mm				
10			10mm				

**Aufgabe:**

Treffen Sie eine Aussage über die Wirksamkeit der bei der Abschirmung verwendeten Materialien! Liefern die Messwerte bereits Hinweise auf verschiedene Strahlungsarten?

### 2.4 Abhängigkeit der Strahlung vom Winkel und vom Magnetfeld

**Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung:**

- Der Strahler wird mit Hilfe der Halterung in die Experimentierplatte gesteckt, Abstand ca. 6 cm
- Das Zählrohr wird in die verschiedenen Winkelpositionen gesteckt und 20 Sekunden lang gemessen, Zählrate eintragen
- Nullrate von Zählrate abziehen
- Magnete einsetzen, Messung wiederholen

**Messwerte und Auswertung:**

Winkel $\varphi$	45°	30°	15°	0°	-15°	-30°	-45°
Zählrate N( $\varphi$ )							
N( $\varphi$ ) - N <sub>0</sub>							
Zählrate mit Magnetfeld N <sub>mag</sub> ( $\varphi$ )							
N <sub>mag</sub> ( $\varphi$ ) - N <sub>0</sub>							

**Aufgabe**

Was fällt auf? Was folgern Sie daraus? Wie könnte man weitere Aussagen über die Natur der gemessenen Strahlung machen? Führen Sie ggf. weitere Messungen durch und deuten Sie die Messwerte!

## 2.5 Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom Abstand

### Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung:

- Zählrohr und Strahler in die Experimentierplatte stellen
- nehmen Sie zwei Messwerte auf – den ersten für eine Entfernung  $r$ , den zweiten für die doppelte Entfernung  $2r$
- Messzeit 20 Sekunden pro Entfernung

### Auswertung:

Gewählt sei  $r =$         cm.

Messwerte:  $N(r) =$          $N(r) - N_0 =$          $N(2r) =$          $N(2r) - N_0 =$

### Aufgabe:

Welche Gesetzmäßigkeit lässt sich aus den Messergebnissen folgern?

## 2.6 Bestimmung der Halbwertsdicke von Blei

- Messwerte für Blei von Aufgabe 2.3 übernehmen und in Tabelle eintragen
- Messwerte logarithmieren und in Achsenkreuz eintragen

<b>d</b>	<b><math>N(d) - N_0</math> (für Blei)</b>	<b><math>\ln(N(d) - N_0)</math></b>
<b>0mm</b>		
<b>2mm</b>		
<b>4mm</b>		
<b>6mm</b>		
<b>8mm</b>		
<b>10mm</b>		

Die so erhaltenen Messwerte werden in logarithmierter Form in einem  $N(d) -$  Diagramm aufgetragen. Mit Hilfe der Steigung wird die Halbwertsdicke bestimmt.

### Aufgabe:

Werten Sie die Messreihe graphisch aus und bestimmen Sie den Absorptionskoeffizienten  $\mu$ !

## Mathematische Grundlagen zur Auswertung

Schon aus dem **Versuch 2.3** wurde ersichtlich, dass bei einem fest fixierten Abstand  $d$  zwischen Strahler und Zählrohr die über einen Zeitraum  $t$  gemessene Zählrate  $N_0$  durch das Einbringen von Absorbermaterialien auf einen Wert  $N(d)$  absinkt, welcher geringer als  $N_0 (= N(0))$  ist.

Der funktionale Zusammenhang zwischen  $N_0$  und  $N(d)$  ist durch die e-Funktion gegeben.

$$N(d) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

Hierbei sind  $\mu$  der Absorptionskoeffizient, der vom verwendeten Absorbermaterial abhängt, und  $d$  die Dicke des Absorbermaterials.

Logarithmieren der Gleichung ergibt:

$$\ln(N(d)) = \ln(N_0) + \ln(e^{-\mu \cdot d}) = \ln(N_0) - \mu \cdot d$$

Trägt man also  $\ln(N(d))$  über  $d$  auf, so ergibt sich eine Gerade. Die Steigung der Geraden ( $-\mu$ ) liefert den Absorptionskoeffizienten  $\mu$ , der y-Achsenabschnitt ( $\ln(N_0)$ ) die Zählrate  $N_0$ .

Die Halbwertsdicke ist die Dicke, bei der die gemessene Zählrate auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes  $N_0$  abgesunken ist.

Wir setzen also:

$$\frac{N(d_{1/2})}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu \cdot d_{1/2}}$$

Um nach  $d_{1/2}$  aufzulösen, muss zunächst der natürliche Logarithmus angewendet werden. Unter Verwendung von  $\ln e = 1$  ergibt sich:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\mu \cdot d_{1/2}$$

Der Term  $\ln\left(\frac{1}{2}\right)$  kann in  $\ln 1 - \ln 2$  umgeschrieben werden. Da  $\ln 1 = 0$  ist, ist letztendlich  $\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln 2$ .

$$\Rightarrow d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

### Aufgabe:

Berechnen Sie die Halbwertsdicke<sup>3</sup> von Blei!

## 3 Quellen

Metzler; Physik, Schroedel Verlag GmbH, Hannover 1998

Phywe; Versuchsthemen Radioaktivität, Industrie-Druck GmbH, Göttingen 1986

Hier werden Grundlagen der Kernphysik erläutert:

[http://zope.reaktor.fh-furtwangen.de/portal/natural\\_sciences/nuclear\\_sciences/lecture%201%20radiation%20physics/grundlagen\\_strahl\\_enphysik/strahlungsarten.html](http://zope.reaktor.fh-furtwangen.de/portal/natural_sciences/nuclear_sciences/lecture%201%20radiation%20physics/grundlagen_strahl_enphysik/strahlungsarten.html)

Sehr empfehlenswert! Diese Seite ist auch die **Quelle zahlreicher Abbildungen** unseres Skriptes.

<sup>3</sup> Diese ist keine Materialkonstante, sondern hängt von der Art der verwendeten Strahlung ab. „Harte“ Gamma-Strahlung hat eine höhere Durchdringungsfähigkeit als „weiche“ Gamma-Strahlung.