

Radioaktiver Zerfall

Der radioaktive Zerfall ist ein zufälliger und nicht deterministischer Prozess. Im Mittel gehorcht er folgendem Gesetz:

$$(1) N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Aktivität

Die Aktivität ist als Anzahl der Zerfallenden Kerne pro Sekunde definiert.

$$(2) A = \lambda N(t)$$

Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel, was einem Zerfall pro Sekunde entspricht und vom Ausgangs- und Endprodukt unabhängig ist.

Halbwertszeit

Die Halbwertszeit ist die Zeit in der die Aktivität eines radioaktiven Stoffes auf die Hälfte des Ausgangswerts gesunken ist. Daraus ergibt sich für sie folgende Relation:

$$(3) T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Die Halbwertszeit ist ein Wert, welcher von der materialspezifischen Zerfallskonstante abhängt.

Energiedosis und Energiedosisleistung

Die Energiedosis ist als Energie definiert, welche von einem Kilo absorbierender Substanz aufgenommen wird. Sie wird in der Einheit Gray gemessen und hat die Dimension J/kg. Die Energiedosisleistung, also die pro Zeiteinheit aufgenommene Energiedosis und hat die Dimension Gy/s bzw. W/kg.

Qualitätsfaktor

Auf Grund der Abhängigkeit der Wirkung einer Strahlendosis auch von der Art der Strahlung und nicht nur der Energiedosis, wurde der Qualitätsfaktor zur Definition der Äquivalentdosis eingeführt. Er gibt die Wirkung einer bestimmten Strahlung auf den Körper wieder. Der Zusammenhang zwischen Qualitätsfaktor und linearem Energietransfer wurde von der ICRP festgelegt:

Tabelle 1:

Linearer Energietransfer(L) [keV/μm]	Qualitätsfaktor
<10	1
10-100	$0,32 * L - 2,2$
>100	$300 / \sqrt{L}$

Ionisierende Strahlung

Bei ionisierender Strahlung handelt es sich um Teilchen, welche in der Lage sind, Atome und Moleküle zu ionisieren. Dazu wird auch Neutronenstrahlung gezählt, auch wenn diese nur indirekt über weitere Prozesse ionisiert. Ionisierende Strahlung kann organische Zellen töten oder schwer schädigen in dem sie die DNA entweder direkt zerstört (Einzel- und Doppelstrangbrüche) oder indirekt mittels freier Radikale die gleichen Schäden hervorruft, welche für die Zelle meist letal sind.

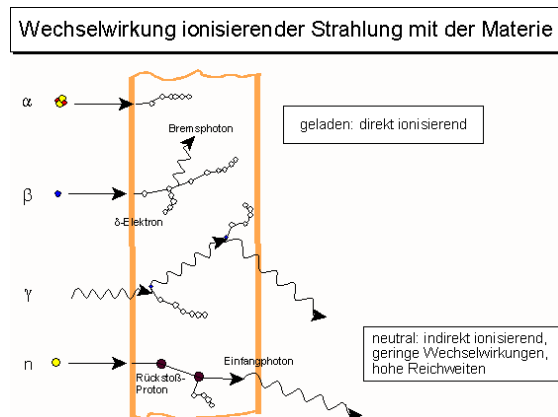


Abb.1: Ionisationsvorgänge auf Grund verschiedener Strahlungen

Neutronenaktivierung

Neutronenstrahlung ist elektrisch neutral und besitzt eine mit Gammastrahlung vergleichbar hohe Durchdringungskraft. Neutronen werden nur bei wenigen natürlichen radioaktiven Zerfällen freigesetzt, daher werden oft andere Neutronenquellen verwendet. Man kann freie Neutronen mittels Teilchenbeschleuniger, pyroelektrischer Fusion, Bremsstrahlung oder Schwerionen-Reaktionen erzeugen. Neutronenstrahlung regt Atomkerne, auf die es trifft, an und kann sie zum radioaktiven Zerfall verleiten.

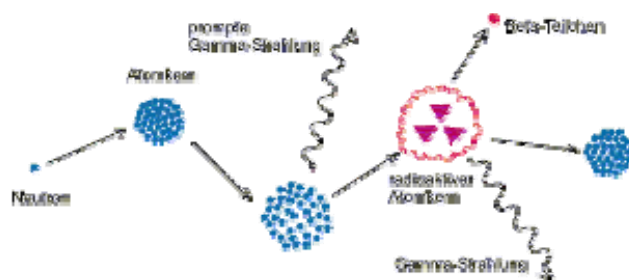
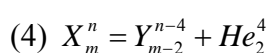


Abb.2: schematische Darstellung eines durch Neutronenaktivierung angeregten radioaktiven Zerfalls

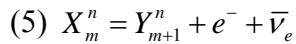
α-Zerfall

Bei dieser Zerfallsart tunnelt ein Alpha-Teilchen (Helium4-Kern) aus dem Potential der starken Wechselwirkung eines massiveren Atomkerns. Die Energie der Alphateilchen liegt bei natürlichen Elementen üblicher Weise zwischen 2 und 5 MeV. Die Reichweite der Alpha-Strahlung liegt in Luft in der Größenordnung von wenigen Zentimetern. Die Reaktionsgleichung für den Alpha-Zerfall lautet:



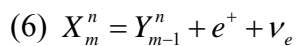
β^- -Zerfall

Im Atomkern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um, wobei als Nebenprodukte ein Elektron und ein Anti-Elektronneutrino entstehen, welche den Kern verlassen. Die Reichweite der Beta-Strahlung liegt in Luft etwas über 10cm. Sie lässt sich jedoch leicht, z.B. mittels Alufolie abschirmen. Die Reaktionsgleichung für den β^- -Zerfall lautet:



β^+ -Zerfall

Der β^+ -Zerfall ist ähnlich dem β^- -Zerfall, jedoch werden hier ein Positron und Elektronneutrino bei der Umwandlung einer Protons in ein Neutron frei. Dieser Zerfall ist in der Natur äußerst selten und tritt nur bei Kalium40 auf. Die Reaktionsgleichung für den β^+ -Zerfall lautet:



γ -Zerfall

Ein angeregter Atomkern kann Gammaquanten emittieren um in den nicht-angeregten Zustand zurück zu wechseln. Anders als bei Alpha- und Betastrahlung handelt es sich hierbei nicht um geladene Elementarteilchen, sondern um elektromagnetische Strahlung. Die Energie der Photonen liegt bei 2,5 keV und mehr. Die Gammastrahlung hat als elektromagnetische Welle grundsätzlich eine unendliche Reichweite ist schwer abschirmbar.

Höhenstrahlung

Die Höhenstrahlung oder kosmische Strahlung ist hochenergetische Teilchenstrahlung, welche bei extremen Prozessen im Weltraum entsteht. Es handelt sich dabei um Elektronen, positiv geladene Ionen und Protonen. Die Partikel können bis zu 10^{20} eV erreichen und der Ursprung ist nur teilweise geklärt. Beim Eindringen in die Erdatmosphäre kommt es zu zahlreichen Reaktionen, deren Zerfallprodukte dann die Erdoberfläche erreichen.

Natürliche Strahlenbelastung

Wir sind permanent von einer gewissen natürlichen Strahlung umgeben, welche größtenteils vom Zerfall sich in der Natur befindlicher, radioaktiver Elemente herrührt. Die effektive Strahlendosis, welcher ein Mensch pro Jahr ausgesetzt ist, liegt bei wenigen Millisievert.

Geiger-Müller-Detektoren

Bei einem Geiger-Müller-Detektor oder auch Geigerzähler handelt es sich um ein gasgefülltes Rohr an dem ein elektrisches Feld zwischen zwei Elektroden anliegt. In das Rohr eindringende ionisierende Teilchen werden auf Grund des vorherrschenden elektrischen Feldes beschleunigt und lösen sekundäre Prozesse aus, welche dann kaskadenartig zu messbaren Impulsen führen. Diesen Vorgang bezeichnet man als Gasverstärkung. Weiters verhindert das elektrische Feld eine Rekombination von verschiedenen Ladungen und sammelt sie somit an den Elektroden.

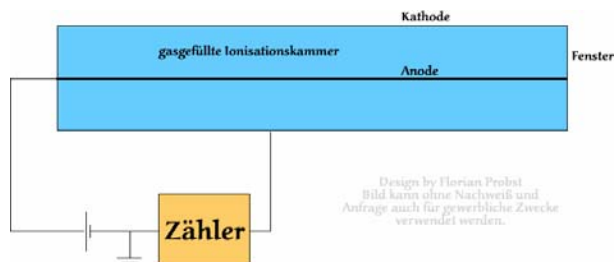


Abb.3: prinzipielles Schaltbild eines Geigerzählers

Halbleiterdetektor

Halbleiterdetektoren sind im Prinzip spezielle Dioden (Näheres zu Dioden siehe Protokolle von PS7 und PS8) bei denen der pn-Übergang weniger als $10\mu\text{m}$ dick ist, was sehr hohen Feldstärken entspricht. Wenn ein ionisierendes Teilchen in diesen Bereich gelangt, werden dort zusätzliche Ladungsträger frei, was einen kurzzeitigen Stromfluss ermöglicht. Diese Strompulse haben charakteristische Erscheinungsbilder, durch die man auf die Natur des einfallenden Teilchens schließen kann.

Nebelkammer

Eine Nebelkammer ist ein, mit einem übersättigten Alkoholdampf (meist Methanol oder Ethanol), gefüllter Behälter. Wenn ein geladenes Teilchen diesen „Nebel“ durchquert, ionisiert es einzelne Atome im Gas, welche dann als Kondensationskeime wirken. Somit hinterlässt ein durchquerendes Teilchen einen Kondensationsstreifen und man kann dann mit Hilfe elektrischer und magnetischer Felder Informationen über die Natur des Teilchens erhalten.

Nuklidkarte

Hierbei handelt es sich um eine graphische Darstellung von Nukliden in einem Diagramm, in welche sie nach Protonenzahl und Neutronenzahl eingetragen sind. Hierbei gibt es horizontale Linien auf denen Kerne gleicher Protonenzahl liegen, die so genannten Isotope. Auf senkrechten Linien liegen die Kerne gleicher Neutronenzahl, welche als Isotone bezeichnet werden. Weiters gibt es auch noch (Kern-)Isobare, was Kernen gleicher Massenzahl, aber unterschiedlicher Protonen-/Neutronenzahl.

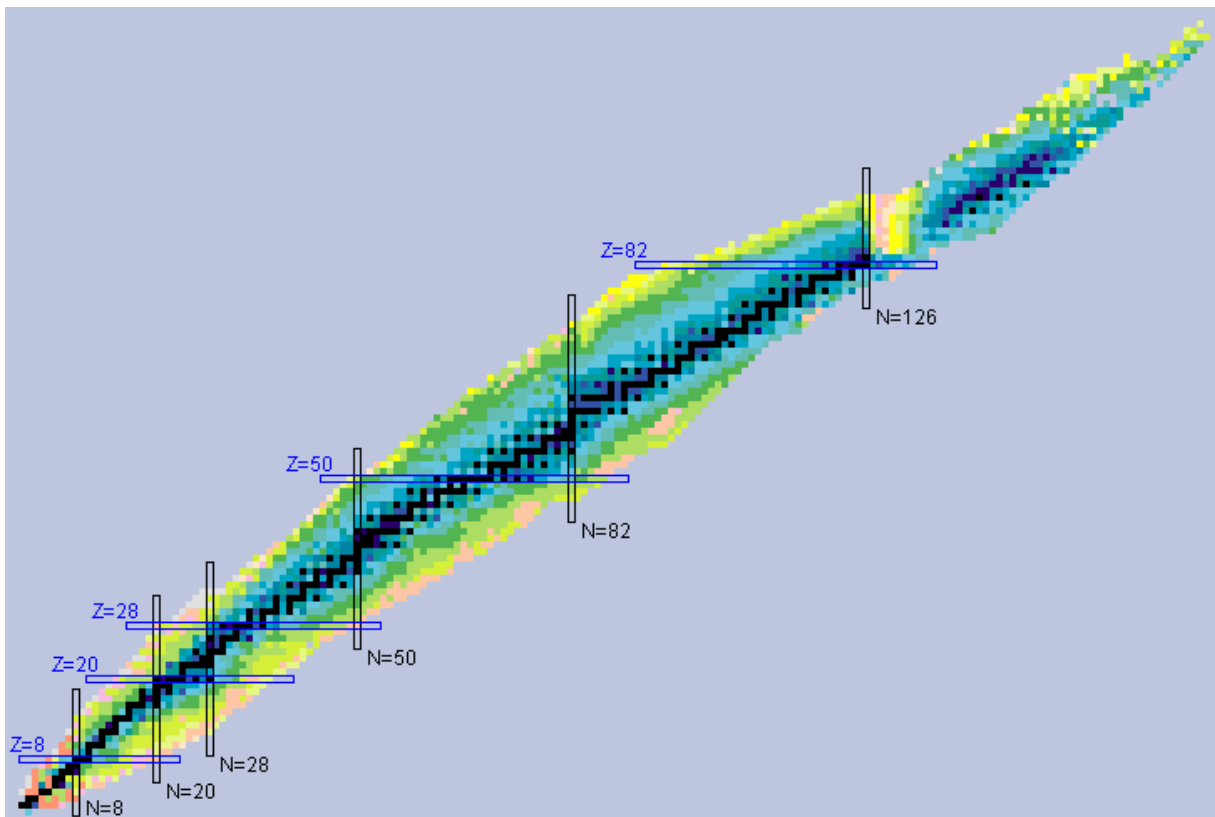


Abb.4: Nuklidkarte mit allen bekannten Elementen, die Farbe entspricht der Halbwertszeit.

1) Messung der radioaktiven Untergrundstrahlung

In diesem Experiment messen wir die natürliche, radioaktive Untergrundstrahlung, wo zum Beispiel die kosmische Strahlung dazuzählt. Als Messgerät dient ein Geiger-Müller-Zählrohr, welches zunächst in einen Bleibehälter eingebracht wird, um Störeinflüsse auszuschalten. Es werden 5 Messungen mit einer Messdauer von jeweils 100 Sekunden gemacht.

Messung	Anzahl der Impulse in 100 Sekunden
1	11
2	15
3	11
4	14
5	10
Mittelwert	$12,2 \pm 2,2$

Somit ergibt sich für die **Untergrundstrahlung** ein Wert von **$7,3 \pm 1,3$ Impulsen pro Minute**.

Die Anzahl der **Impulse pro 10 Minuten** beträgt **$73,2 \pm 13$** . Dieser Wert ist wichtig für das zweite Experiment, die Bestimmung der Halbwertszeit von neutronenaktiviertem Kupfer, welches während der gesamten Praktikumszeit läuft (mindestens 4 Stunden lang).

2) Messung der Halbwertszeit von Kupfer

Hier soll die Halbwertszeit von neutronenaktiviertem Kupfer gemessen werden. Die Probe wird zunächst in einen Bleitresor transferiert, zusätzlich wird ein Geiger-Müller Zählrohr in den Tresor eingebracht und selbiger wird danach verschlossen. Nach diesem Vorgang wird das Zählrohr an den Impulszähler angeschlossen.

Da neben den Impulsen, die von der Probe verursacht werden, auch weitere durch die in Experiment 1 gemessene Untergrundstrahlung entstehen, muss von jeder Messung der Wert der Untergrundstrahlung abgezogen werden, um auf die, rein von der Probe kommende, Strahlung zu schließen.

Aus der Nuklidkarte ergeben sich 2 potentielle Kandidaten, um welches Isotop es sich handeln könnte:

Cu-64 mit einer Halbwertszeit von etwa 12,7 Stunden und Cu-67 mit einer Halbwertszeit von etwa 61,9 Stunden.

Entnahmezeitpunkt: 9. Juni 2006 08:04 (Wann die Probe aus der Neutronenquelle entnommen wurde)

Zeitpunkt des Messbeginns: 9. Juni 2006, 09:03

Ende der Messung: 9. Juni, 13:14

Dauer eines Messintervalls: 10 Minuten

Zeitpunkt [min nach Entnahme]	Impulse	Impulse ohne Hintergrundstrahlung
69	1033	69
79	1086	79
89	972	89
99	970	99
109	1025	109
119	940	119
129	1002	129
140	1016	140
150	955	150
160	983	160
170	955	170
180	942	180
190	932	190
200	876	200
210	856	210
220	909	220
230	851	230
240	860	240
250	879	250
260	841	260
270	895	270
280	855	280
290	880	290
300	811	300
310	849	310

Trägt man nun die Zeit in Minuten gegen die Anzahl der Impulse auf, so erhält man folgendes Bild:

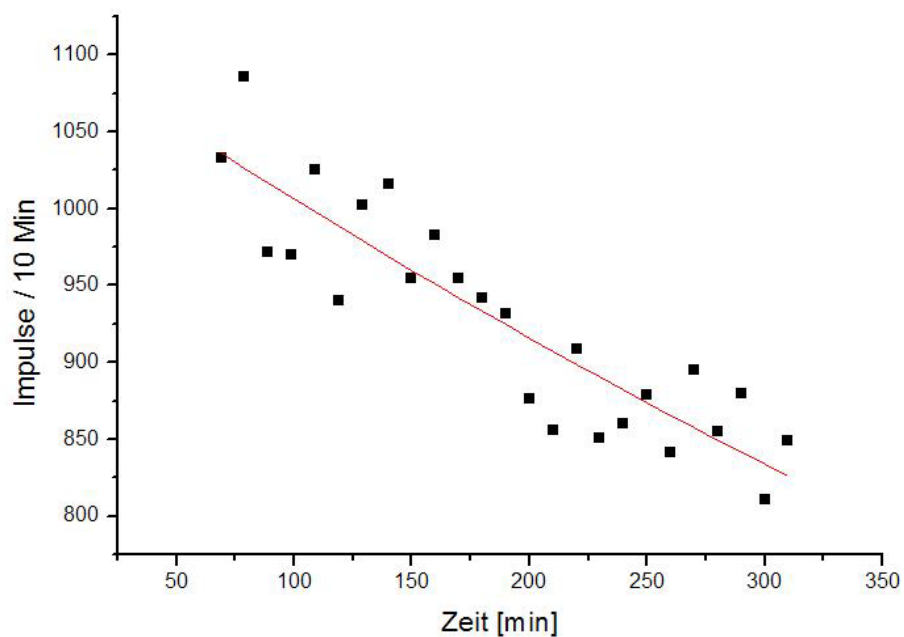


Abb.5.

Gemäß Formel (1) bietet sich hier ein Exponentialfit an, womit sich folgende Werte ergeben:

$$N_0 = 1036,08 \pm 13,5$$

$$t = (1062,06 \pm 111,2) \text{ min} \rightarrow t = 1 / \lambda \rightarrow \lambda = (5,6 \pm 0,6) * 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Gemäß Formel (3) ergibt sich somit für die Halbwertszeit:

$$T_{1/2} = (12,2 \pm 1,3) \text{ h}$$

Daraus folgern wir, dass es sich bei der Probe sehr wahrscheinlich um Cu-64 handelt.

3) Bestimmung des Abstandsgesetzes

Hier soll das quadratische Abstandsgesetz für punktförmige Quellen untersucht werden. Als Quelle dient ein Radiumpräparat (Ra 226, Aktivität: 3,3 kBq), welches α - und γ -Strahlung aussendet. Die α -Strahlung kann leicht mit einem Blatt Papier abgeschirmt werden, sodass nur die γ -Strahlung gemessen wird, da nur für diese die Luft als Medium zwischen Quelle und Messgerät keine nennenswerte Beeinflussung der Messung zur Folge hat.

Auf einer Aluminiumplatte mit Lochung werden nun Präparat und Geiger-Müller Detektor montiert, der Detektor ist auch mit einem Impulszähler verbunden.

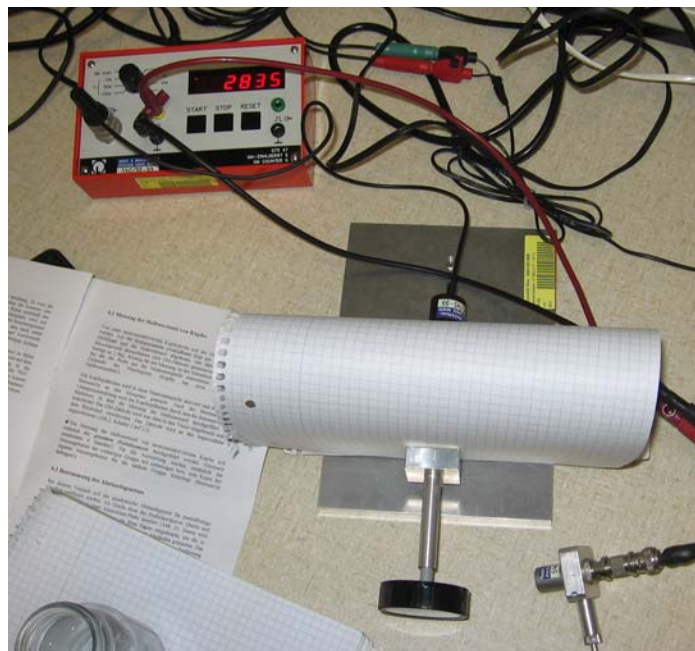


Abb.6.: Versuchsaufbau; Links oben befindet sich der Impulszähler, ein Blatt Papier dient zur Abschirmung der Alpha-Strahlen; „unter“ dem Blatt Papier sieht man die Befestigung für das Radiumpräparat, darüber den GM-Detektor

Loch	Abstand [cm]	Impulse pro 100 Sekunden
1	3	2761
		2835
		2849
		2883

		3047
	Mittelwert	2875,0 ± 106
2	4	1714
		1642
		1624
		1703
		1615
	Mittelwert	1659,6 ± 45,9
3	5	1014
		1164
		1110
		1057
		1153
	Mittelwert	1099,6 ± 63,7
4	6	660
		634
		735
		768
		767
	Mittelwert	712,8 ± 62,2
5	7	549
		561
		575
		493
		622
	Mittelwert	560,0 ± 46,6
6	8	414
		409
		416
		454
		407
	Mittelwert	420,0 ± 19,4
7	9	316
		320
		256
		295
		281
	Mittelwert	293,6 ± 26,3
8	11	208
		226
		207
		243
		207
	Mittelwert	218,2 ± 16,1
9	14	159
		215
		180
		158
		197
	Mittelwert	181,8 ± 24,2

Trägt man nun den Kehrwert des Quadrats des Abstand gegen die Anzahl der Impulse auf, so erhält man eine Gerade (Abb.7).

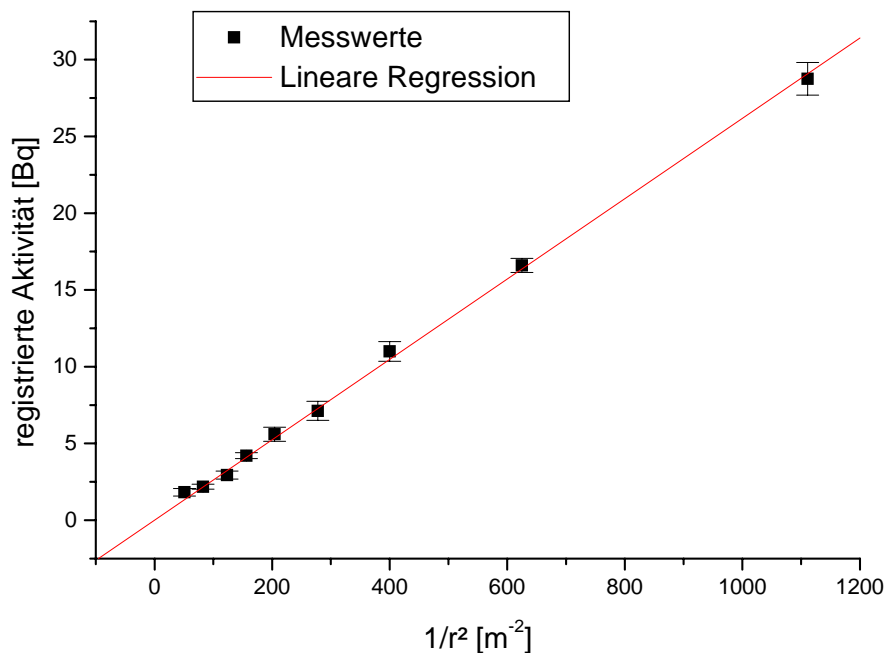


Abb.7: Quadratisches Abstandsgesetz

$$(7) A = c \frac{1}{r^2}$$

Aus der Ausgleichsgerade zeigt sich, dass der Koeffizient c in der Formel (7) bei:

$$0,02618 \pm 2,3 \cdot 10^{-4}$$

liegt. Somit wurde die Gültigkeit des quadratischen Abstandsgesetzes mit einer guten Genauigkeit gezeigt.

4) Bestimmung der Reichweite von α -Strahlen in Luft

Die Reichweite von α -Strahlen in Luft soll auf zwei verschiedene Arten gemessen werden, wobei als Quelle wiederum das Radiumpräparat dient:

a) Messung mit Halbleiterdetektor

Der Aufbau dieses Experiments stimmt größtenteils mit dem von Punkt (3) überein, bis auf die Tatsache, dass die α -Strahlen nicht durch ein Blatt Papier abgeschirmt werden, da sie ja Gegenstand der Untersuchung sind. Bei diesem Versuch muss das Licht im Experimentierzimmer abgedreht bzw. so minimal wie möglich gehalten werden, da Photonen im Halbleiter nach dem Photoeffekt (siehe Protokoll PS6 - Strahlung) weitere, freie Ladungsträger erzeugen, was allerdings die Messung verfälschen würde (Verfälschung des Sperrstromes, der sonst direkt proportional zur Strahlung wäre).

Zu jedem Abstand werden **5** Messungen durchgeführt, die zeitmäßig jeweils etwa **60 Sekunden** auseinander liegen.

Loch	Abstand [cm]	Impulse
1	3	236
		245
		227
		235
		247
	Mittelwert	$238,0 \pm 8,1$
2	4	110
		95
		103
		92
		88
	Mittelwert	$97,6 \pm 8,8$
3	5	39
		42
		56
		48
		45
	Mittelwert	$46,0 \pm 6,5$
4	6	0
		0
		0
		0
		0
	Mittelwert	0

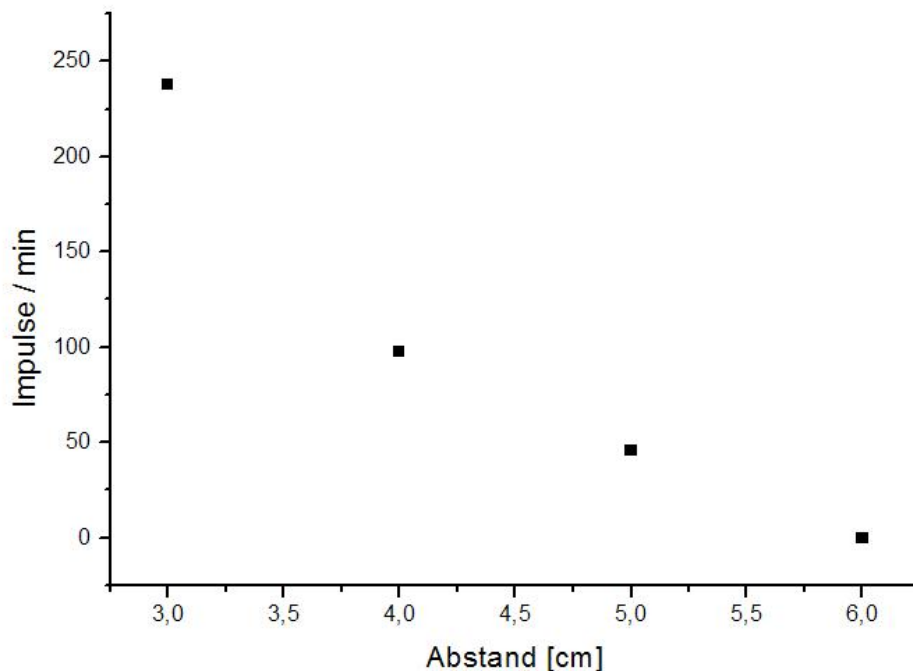


Abb.8.: Messung der Reichweite der Alpha-Strahlung

Der absolute Wert der Reichweite der Alpha-Strahlen konnte mit der vorliegenden Vorrichtung nicht gemessen werden, da beim Abstand von 5 cm zwar noch $46,0 \pm 6,5$ Impulse pro Minute gemessen werden konnten, beim nächstmöglichen Abstand von 6 cm

hingegen war gar kein Impuls zu messen (über mehrere Minuten hinweg). Daraus schließen wir, dass sich die Reichweite der Alphastrahlung in diesem Bereich befindet, also:

Reichweite der Alpha-Strahlung: 5 cm < Reichweite < 6 cm

b) Nebelkammer

Hier soll die Reichweite der α -Strahlen auf optischem Weg bestimmt werden (Funktionsweise wurde schon weiter oben beschrieben). Es bildet sich durch die Strahlung eine feine Nebelspur, die deutlich zu sehen ist. Mit einer Digitalkamera wird eine Aufnahme gemacht und über ein Bildbearbeitungsprogramm ausgewertet (Abb.9 und 10).

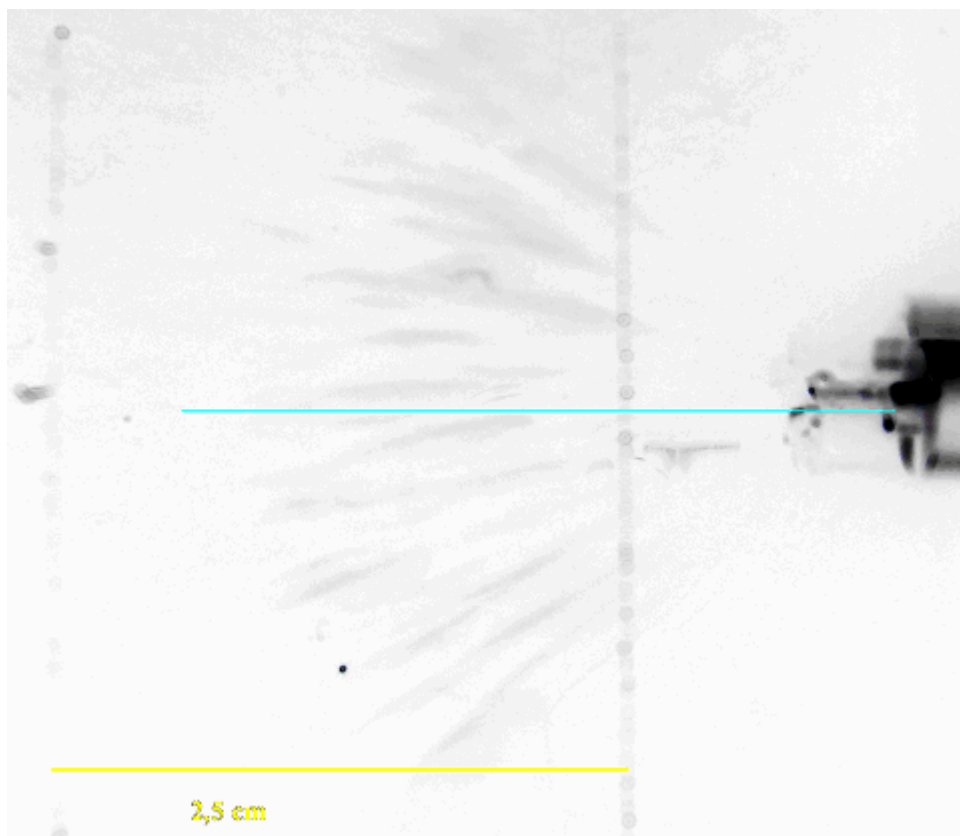


Abb.9

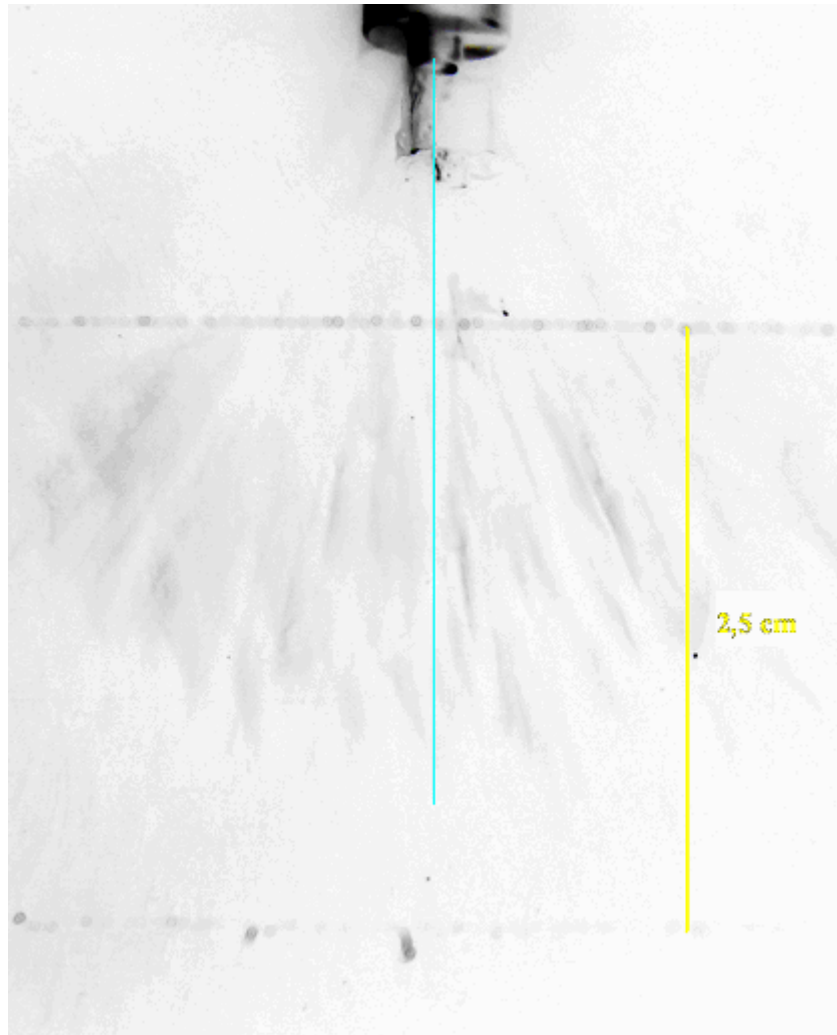


Abb.10

Somit liegt die Reichweite der α -Strahlen etwa bei 3 bis 4 cm.