

## Das $\beta^-$ -Spektrum

Bei diesem Versuch wurde ein  $\beta^-$ -Spektrum aufgenommen, indem die Anzahl der  $\beta^-$ -Teilchen aus einem Strontium-90 Präparat nach Durchlaufen einer bestimmten Kreisbahn in einem annähernd homogenen Magnetfeld in Abhängigkeit von der Stärke des Magnetfeldes gemessen wurde.

Die PG 268-II:

Tutor:	Sing,	Cornelia	
	Bednarczyk,	Diana	196230
	Fleischer,	Fabian	197376
	Guyot,	Daniel	194649
	Könnecke,	Rene	197367
	Sturm,	Matthias	194362
	Südmeyer,	Heinrich	197655
	Torabi,	Ramin	197364

Protokollanten:

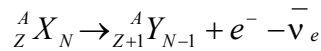
	Bednarczyk,	Diana
	Torabi,	Ramin

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Titelblatt mit Abstract	1
Inhaltsverzeichnis	2
1. Allgemeines zur $\beta^-$ -Strahlung	3
2. Theoretische Vorüberlegungen	3
3. Aufbau	5
3.1 Geräteliste	5
3.2 Versuchsaufbau	6
4. Durchführung	6
5. Auswertung	7
6. Resümee	9

## 1. Allgemeines zur $\beta^-$ -Strahlung

$\beta^-$ -Strahlung entsteht, wenn in einem Atomkern ein Neutron zu einem Proton und einem Elektron zerfällt.



Das dabei zusätzlich entstehende Teilchen  $\bar{\nu}_e$  nennt man Antineutrino (genauer Antiteilchen des Elektronenneutrinos) es wurde 1930 von Wolfgang Pauli postuliert und erst einige Jahre später experimentell nachgewiesen. Es besitzt keine elektrische Ladung, hat eine sehr kleine Ruhemasse und besitzt einen Spin von  $\frac{\hbar}{2}$  [und die Leptonenzahl 1]. Die Existenz dieses Teilchens

konnte so genau vorausgesehen werden, da sonst der  $\beta^-$ -Zerfall gegen die Impulserhaltung, die Energieerhaltung und die Drehimpulserhaltung [und die erst später eingeführte Erhaltung der Leptonenzahl] verstoßen hätte.

## 2. Theoretische Vorüberlegungen

Das besondere am  $\beta^-$ -Spektrum ist, daß es nicht diskret ist, wie es die Spektren von  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung sind, sondern kontinuierlich; d.h. unterhalb einer maximalen kinetischen Energie sind alle kinetischen Energien möglich. Die restliche beim  $\beta^-$ -Zerfall entstehende Energie erhält das Antineutrino.

Da  $\beta^-$ -Strahlung aus Elektronen besteht, kann man sie mit einem Magnetfeld ablenken. In einem homogenen Magnetfeld das senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen verläuft, beschreiben die Elektronen eine Kreisbahn. Bei einer Kreisbahn ist die Zentrifugalkraft gleich der Zentripetalkraft.

Die Zentripetalkraft ist hier die Lorentzkraft:  $F_p = F_L = e \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{r} = F_R$

daraus ergibt sich für den Impuls:  $p = m \cdot v = e \cdot r \cdot B$

Wegen der hohen Geschwindigkeiten der Elektronen benutzen wir die relativistische Energie - Impuls - Beziehung:

$$(E_{kin} + m_0 c^2)^2 = p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2 \Rightarrow E_{kin} = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2} - m_0 c^2$$

Wenn man den obigen Impuls einsetzt, ergibt sich mit  $m_0 = m_e$ :

$$E_{kin} = m_e c^2 \left( \sqrt{\frac{e^2 r^2 B^2}{(m_e c^2)^2} + 1} - 1 \right).$$

Diese Beziehung wird zum Berechnen der Energie der  $\beta^-$ -Teilchen benutzt. Da außerdem noch eine Blende benutzt wird, die die  $\beta^-$ -Teilchen, die eine bestimmte Bahn (also einen bestimmten Radius) nicht haben, ausblendet, ist auch r bekannt. Somit kann man durch Messen des Magnetfeldes direkt auf die Energie der durchtretenden  $\beta^-$ -Teilchen schließen.

**Abb. 1 Energieverteilung der  $\beta^-$ -Teilchen:**

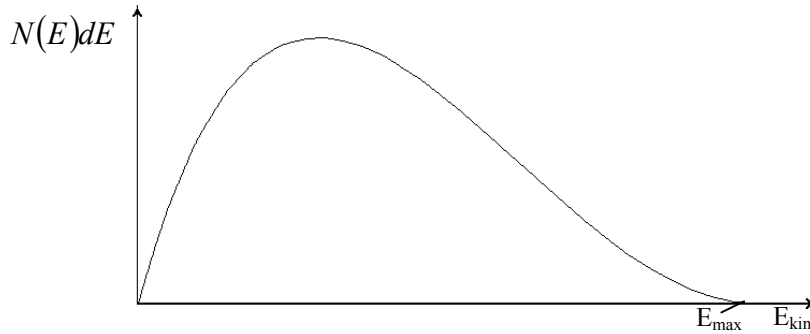
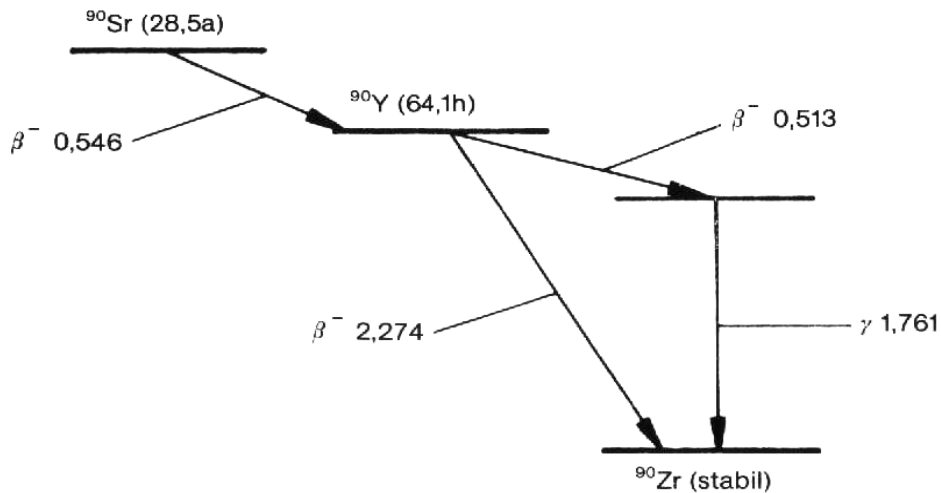


Abbildung 1 zeigt das eigentliche idealisierte Energiespektrum. Die  $\beta^-$ -Teilchen nehmen jede kinetische Energie zwischen Null und einer maximalen Energie  $E_{\max}$  an.  $E_{\max}$  hängt von dem betrachteten Zerfall (also z.B. vom Mutterkern) ab. Hier wurde das Spektrum von Strontium-90 aufgenommen.

**Abb. 2 Zerfallsreihe von Strontium-90:**



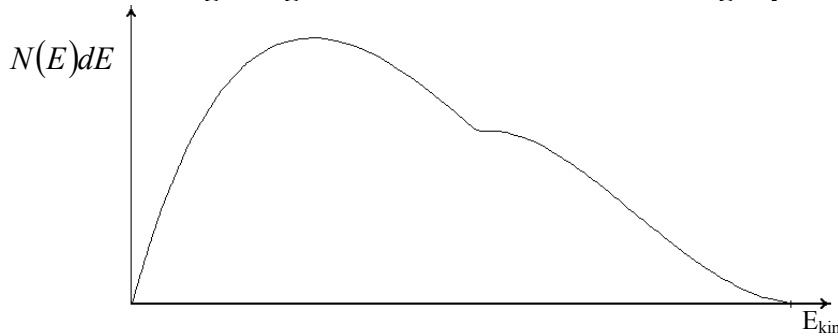
In dieser Zerfallsreihe von Strontium-90 sieht man, daß Strontium-90 Präparate drei verschiedene Zerfälle unter Abgabe von  $\beta^-$ -Teilchen durchführen. Daraus resultieren auch die drei oben angegebenen maximalen Energien.

	HWZ	$\beta^-$ -Energie [MeV]	Übergangswahrscheinlichkeit %	$\gamma$ -Energie [MeV]	emittiert %	konvertiert %
$^{90}\text{Sr}$	28,5a	0,546	100,00			
$^{90}\text{Y}$	64,1h	2,274	99,98			
		0,513	0,02	1,761		0,02

In dieser tabellarischen Darstellung der Zerfallsreihe von Strontium-90 kann man die Übergangswahrscheinlichkeiten der einzelnen Zerfälle erkennen. Deutlich ist zu sehen, daß nur wenige  $\beta^-$ -Teilchen durch den "dritten" Zerfall, bei dem das  $\beta^-$ -Teilchen 0,513 MeV als maximale Energie erhalten kann, entstehen. Da bei einer Messung kein Spektrum ausgeblendet werden kann, erhält man als Energiespektrum eine

Überlagerung der drei auftretenden Spektren. Den 0,513 MeV "Peak" kann man, erstens da er sehr klein ist und zweitens da er durch den benachbarten 0,546 MeV "Peak" überlagert wird, mit den normalen - im PL zur Verfügung stehenden Mitteln - nur schwer erkennen. Als Spektrum sollte man die Überlagerung der beiden anderen Spektren sehen können.

**Abb. 3 Überlagerung zweier unterschiedlicher Energiespektren:**



Die Abbildung 3 zeigt den theoretischen Verlauf zweier sich überlagernder Spektren. Es entspricht damit grob dem,  $\beta^-$ -Spektrum des Sr-90 Präparates, was wir durch unsere Messung erhalten wollen.

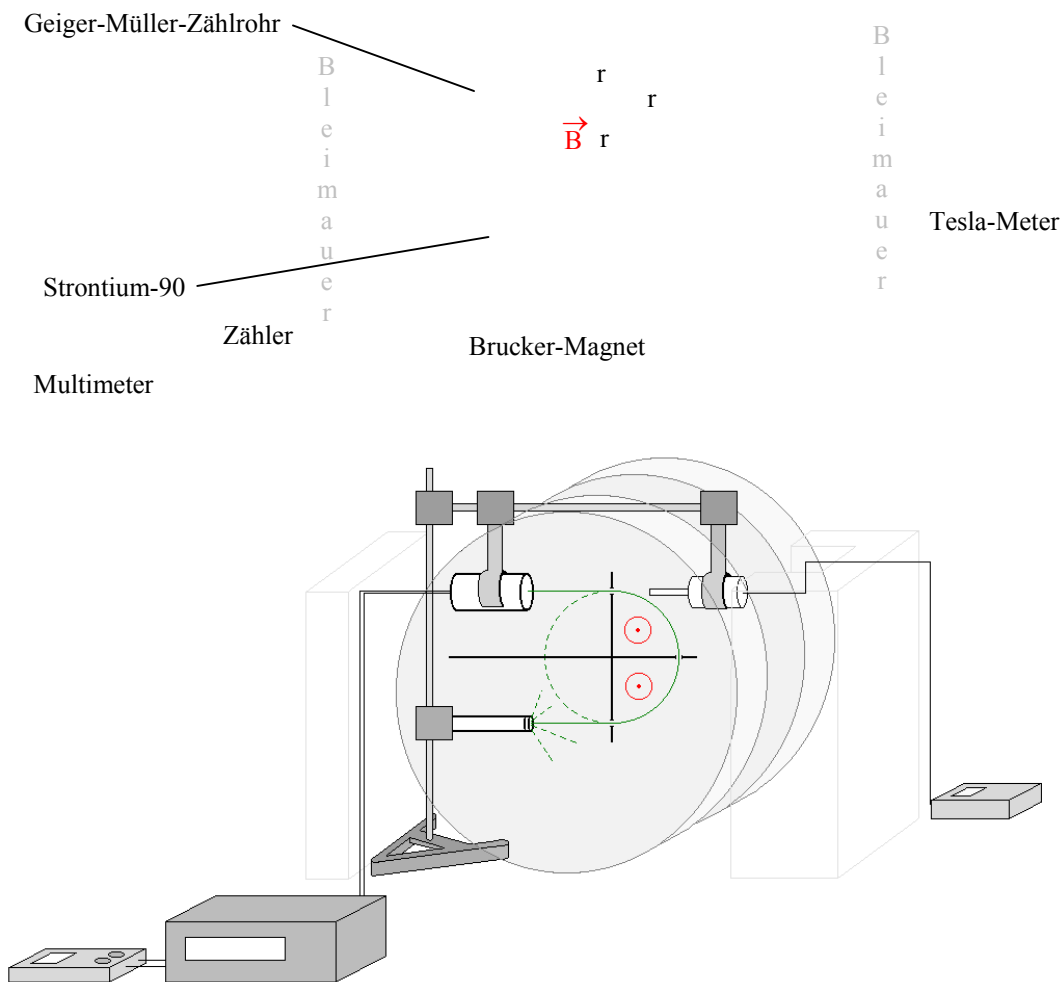
### **3. Aufbau**

#### **3.1 Geräteliste**

PL-Inventarnummer:

- |   |      |
|---|------|
| 1. Strontium-90 Präparat                                  |      |
| 2. Zubehör für $\beta^-$ -Spektroskopie (Blende)          | 653b |
| 3. Wassergekühlter Elektromagnet (Bruker)                 | 245  |
| 4. Geiger-Müller-Zählrohr                                 | 654b |
| 5. Universalzähler (Impo Electronics MC24 E) [mit RS 232] | 042a |
| 6. Digitales Multimeter (FLUKE)                           | 034b |
| 7. Tesla-Meter [20-2000 mT]                               | 221b |
| und viel Blei   |      |

### 3.2 Versuchsaufbau



Die Polkappen des Bruckermagneten wurden abgeschraubt, damit der Versuchsaufbau dazwischen paßt. Dieser bestand aus einer Ringblende, also einem Kreuz aus Kupferplatten, das in drei Armen im Abstand  $r=3\text{cm}$  mittig durchbohrt war und dessen unversehrter Arm als Abschirmung zwischen Präparat und Detektor diente. Die Ringblende wurde mittig zwischen den Spulen des Magneten befestigt und der  $\beta$ -Strahler in seinem unteren Drittel, sowie das Geiger-Müller-Zählrohr im oberen Drittel des Bruckermagneten so positioniert, daß diese jeweils direkt gegenüber eines Loches der Blende standen. Dem Geiger-Müller-Zählrohr so nah wie möglich gegenüber, allerdings außerhalb des Strahlenganges, also einen Abstand größer  $r$  einnehmend wurde eine Hall-Sonde aufgebaut. Nun wurde der Detektor noch mit dem Zählgerät, das an ein Multimeter angeschlossen war, verbunden und die notwendigen Bleimauern vor und hinter dem Aufbau zum Strahlenschutz errichtet.

### 4. Durchführung

Durch das mit der Hall-Sonde vermessene Magnetfeld wurde der Teil der  $\beta^-$ -Strahlung, der durch die Öffnung in der Ringblende kam, kreisförmig nach oben abgelenkt, so daß dieser ebenfalls durch die anderen zwei Löcher in das Geiger-Müller-Zählrohr fiel, welches mit einem Zähler verbunden die Einschläge aufnahm. Die einfallenden Teilchen wurden innerhalb eines Zeitintervalls von 600s (10min) gezählt, wobei die am Detektor anliegende Spannung mit Hilfe des Multimeters gemessen und konstant gehalten wurde. Dann wurde die Stärke des Magnetfeldes verändert und eine erneute Messung gemacht. Dabei wurden alle Ergebnisse in den Computer eingegeben und schon während des Versuches eine vorläufige graphische Auswertung erstellt, die angab, inwieweit die Meßbereiche brauchbar waren.

## **5. Auswertung**

Hier ist besonders darauf zu achten, daß die aufgenommene Zählrate nicht direkt dem Impulsspektrum entspricht. Für ein konstantes Magnetfeld gelangen durch die drei Spalte  $\beta^-$ -Teilchen mit Varianz des Bahnradius  $\Delta r$  einer Impulsbreite:

$$\Delta p = \Delta(r \cdot B) = B \cdot \Delta r = p \frac{\Delta r}{r} \Rightarrow \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta r}{r} = const. \Rightarrow \Delta p \propto p$$

Da der Bahnradius  $r$  bei der Ringblende und der Radius  $\Delta r$  des Bohrloches konstant sind.

Daraus folgt (der Einfachheit nichtrelativistisch) für das Energiespektrum:

$$E_{kin} = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow \Delta E = \Delta p \frac{p}{m} \Rightarrow N \cdot dE \propto \frac{N}{\Delta E} = \frac{N}{\Delta p \frac{p}{m}} \propto \frac{N}{p^2}$$

Also muß man die gemessene Zählrate durch  $p$  teilen, um ein korrektes Impulsspektrum zu erhalten und durch  $p^2$  um das Energiespektrum zu bekommen.

Die zugehörigen Fehler wurden mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz von Gauß bestimmt. Abgeschätzte Größen sind:  $\Delta r = 0,002m \approx 7\%$   $\Delta B = 0,005T$ .

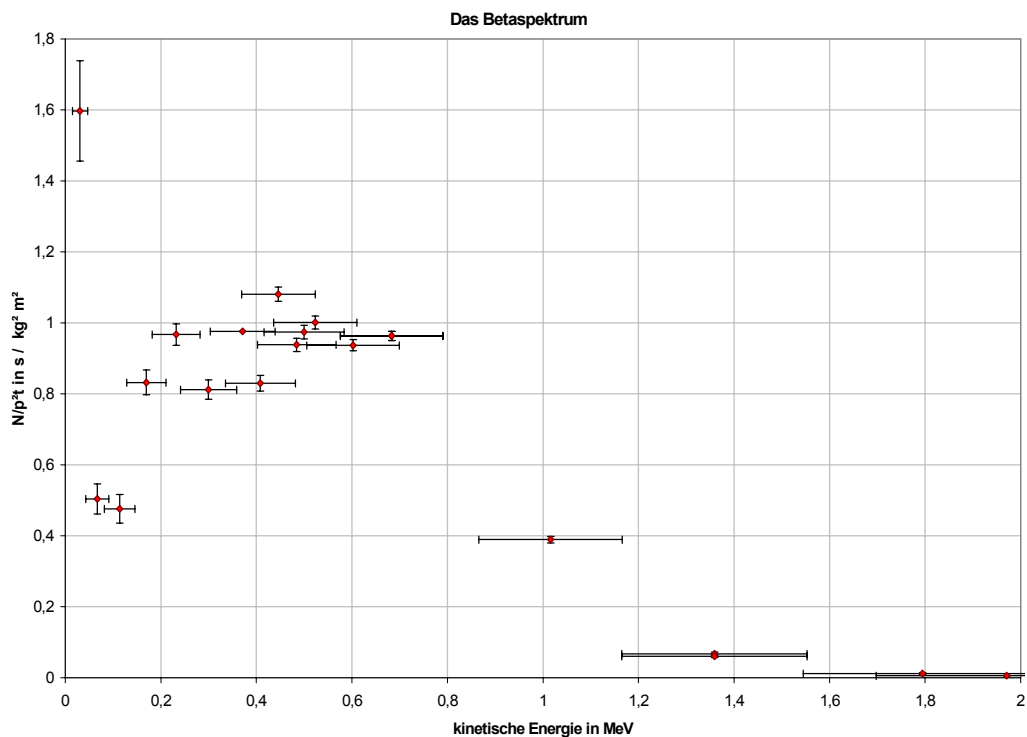
Leider ist  $\Delta r$  bei der verwendeten Blende recht groß, wodurch unsere Fehler sehr groß wurden.

B	E <sub>kin</sub>	F(E <sub>kin</sub> )	N	p	N/p <sup>2t</sup>	F[N/p <sup>2t</sup> ]
[T]	[MeV]	[MeV]		[m kg]	[s <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ]	[s <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ]
0,020	0,031	0,016	133	0,18	1,60	0,14
0,030	0,07	0,02	124	0,27	0,50	0,04
0,040	0,11	0,03	139	0,36	0,48	0,04
0,050	0,17	0,04	203	0,45	0,83	0,04
0,060	0,23	0,05	271	0,54	0,97	0,03
0,070	0,30	0,06	295	0,63	0,81	0,03
0,080	0,37	0,07	1215	0,72	0,9760	0,0002
0,085	0,41	0,07	393	0,76	0,83	0,02
0,090	0,45	0,08	527	0,81	1,08	0,02
0,095	0,48	0,08	513	0,85	0,938	0,019
0,097	0,50	0,08	547	0,87	0,974	0,019
0,100	0,52	0,09	588	0,90	1,001	0,018
0,110	0,60	0,10	652	0,99	0,937	0,016
0,120	0,68	0,11	775	1,08	0,963	0,013
0,120	0,68	0,11	775	1,08	0,963	0,013
0,160	1,02	0,15	585	1,44	0,389	0,009
0,200	1,36	0,19	233	1,80	0,067	0,005
0,200	1,36	0,19	220	1,80	0,061	0,004
0,250	1,8	0,3	138	2,25	0,012	0,002
0,270	2,0	0,3	122	2,43	0,0060	0,0010

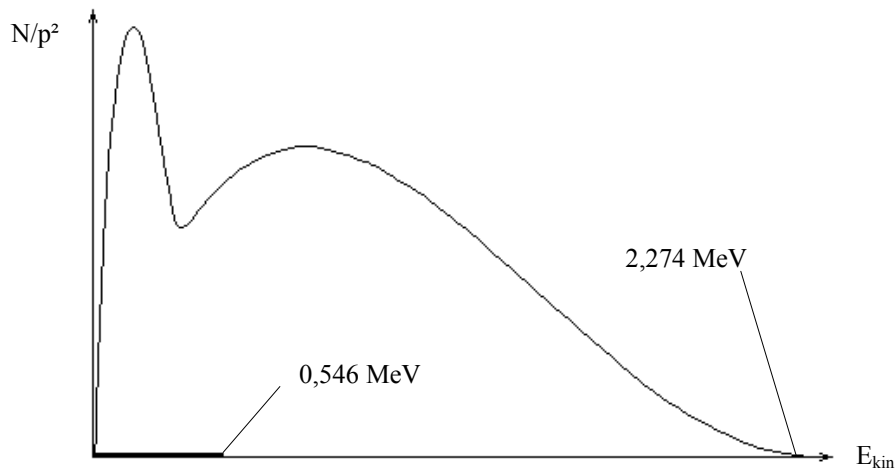
Die graue Meßreihe wurde t = 1800s lang gemessen, alle anderen 600s.



Graphisch aufgetragen ergibt sich dann folgendes Diagramm:



Der prinzipielle Verlauf eines  $\beta^-$ -Spektrums selbst ist gut erkennbar. Leider ist von dem ersten Spektrum (dessen maximale Energie bei 0,546 MeV liegt) nur ein wirklicher Repräsentant gemessen worden. Die maximalen Energien der  $\beta^-$ -Teilchen von 0,546 MeV und 2,274 MeV kann man mit einiger Phantasie recht gut in das Spektrum deuten.



Bedauerlicherweise fehlen uns um konkretere Aussagen zu tätigen weitere Meßwerte und die nötige Genauigkeit. Da wir aber um die Genauigkeit möglichst hoch zu schrauben nur 10 minütige Messungen durchgeführt haben, betrug unsere Gesamtmeßdauer ca. 4 Stunden. Der einzige richtige Repräsentant des ersten Spektrums wurde während der Messung fälschlicherweise als Ausreißer bezeichnet. Dies und die langen Meßzeiten haben leider dazu geführt, daß in diesem Bereich keine weiteren Meßwerte aufgenommen wurden.

## **6. Resümee**

Mit dieser Methode kann man das  $\beta^-$ -Spektrum recht anschaulich bestimmen, allerdings werden die Fehler und der Zeitaufwand entsprechend größer. Für andere Gruppen möchte ich empfehlen die Aluminiumblende zu verwenden, bei der Blende, die wir benutzt haben ist die Varianz des Radius' zu groß. Außerdem sollten in dem Bereich um  $0,03 \text{ MeV}$  mehr Meßwerte aufgenommen werden.

Denjenigen, die nicht so vernarrt in das Experiment selbst sind, sondern möglichst gute Ergebnisse sehen möchten, sei hier angeraten die  $\beta^-$ -Strahlung mit einem Halbleiterdetektor oder einem Szintillationszähler sowie dem Vielkanalanalysator zu messen.