

# Physik-Praktikum:RAD

## Einleitung

Bei diesem Praktikumsversuch werden verschiedene radioaktive Präparate auf ihre Gammastrahlung untersucht. Bei der Aufnahme des Spektrums mittels einer Szintillationsmesssonde stellt man fest, dass die Gammaquanten für jedes Element charakteristische Energieniveaus haben, die sich in Peaks im Spektrum zeigen. Die Auswertung erfolgt über einen Computer mit dem Programm „NucleusPCA-II“.

## Versuchsaufbau

Die Strahlungsquelle wird vor den Detektor postiert und mit einem Überbau aus Bleiziegeln abgeschirmt (wirstanden kurz vor dem Bandscheibenschaden).

Die Gammaquanten treffen auf den Szintillationszähler, der aus einem NaI-Kristall mit eingelagertem Thallium besteht, auf und lösen dort durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung schnelle ionisierende Elektronen aus. Durch die Energie dieser Elektronen werden durch die eingelagerten Thallium-Atome monochromatische Lichtblitze erzeugt, die beim Auftreffen auf eine Photokathode mittels des Photoeffekts Elektronen erzeugen. Diese Elektronen gelangen in den direkt dahinter liegenden Photomultiplier, wo sie durch die angelegte Spannung vervielfacht werden und so gemessen werden können. Ein angeschlossener Verstärker mit Analog-Digital-Wandler und Vielkanalanalysator teilt die Spannung in 1024 Kanäle auf, die mit dem Computer aufgezeichnet und graphisch dargestellt werden.

## 1. Messung: Eichung der Kanäle

Zuerst muss man eine eindeutige Zuordnung zwischen Kanalnummer und Energie finden. Dies geschieht, indem man mehrere bekannte Strahlungsquellen misst und feststellt, bei welchen Kanälen die charakteristischen Peaks zu finden sind. Das Ergebnis wird auf Millimeterpapier aufgetragen und ergibt eine Eichkurve.

<i>Material</i>	<i>Kanalnummer</i>	<i>Energie</i>
<sup>22</sup> Na	130	511 keV
	307	1276 keV
	430	1787 keV
<sup>137</sup> Cs	169	662 keV
<sup>60</sup> Co	286	1173 keV
	323	1333 keV
	596	2506 keV

**Eichkurve:** Siehe Millimeterpapier

Die dritten Peaks bei Natrium und Kobalt sind nur bei geringem Abstand zwischen Strahlungsquelle und Detektor festzustellen; sie kommen dadurch zustande, dass zwei Gammaquanten von beiden Energieniveaus gleichzeitig erfasst und als ein Quant gezählt werden (daher ist die Energie dieses Peaks auch die Summe der Energie der beiden anderen Peaks).

## 2. Messung: Messung des Untergrunds mit/ohne Bleiabschirmung

Der Untergrund wird je 10 min (a) ohne und (b) mit Bleiabschirmung gemessen. Bei (a) wird die Gesamtzahl der Gammaquanten festgestellt, bei (b) wird das Spektrum abgespeichert, um bei den nachfolgenden schwachen Quellen (bei denen jeweils Bleiabschirmung verwendet wird) die Untergrundstrahlung rechnerisch zu eliminieren.

(a) 600 s  $Z = 324672 \pm 806$

## **Aufgabe 2: Abschätzung der jährlichen natürlichen Strahlenbelastung durch niederenergetische Gammaquanten**

### **Annahmen:**

- Im Detektorkristall und im menschlichen Körper wird ein ähnlicher Anteil der Gammaquanten absorbiert
- Als mittlere Energie der Gammaquanten wird 100 keV angenommen.

$$E = Z \cdot 100 \text{ keV} \hat{=} 5,2 \cdot 10^{-9} \text{ J Gesamtenergie in 10 Minuten;}$$

Masse des Kristalls:

$$\rho_{\text{NaI}} = 3,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}; \quad l = d = 3 \text{ Zoll} = 3 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow V = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi \cdot l = 34,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3;$$

$$\Rightarrow m = \rho \cdot V = 1,29 \text{ kg};$$

Also ist die Strahlenbelastung des Kristalls in 10 Minuten:  $\frac{E}{m \cdot t} = \frac{5,2 \cdot 10^{-9} \text{ J}}{1,29 \text{ kg} \cdot 10 \text{ min}};$

Daraus folgt für die Strahlenbelastung des Menschen:  $2,1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Gy}}{\text{a}} = 1 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Sv}}{\text{a}}.$

### **Messung 3: Kaliumcarbonat-Probe**

Das Spektrum der Kaliumcarbonat-Probe wird 10 Minuten lang aufgenommen:

Dabei ergab sich zwischen Kanal 330 und 370 ein Peak, der  $3936 \pm 36$  Quanten enthielt. Im selben Intervall enthielt die Messung der Untergrundstrahlung  $1314 \pm 30$  Quanten. Somit errechnet sich die tatsächliche Anzahl zu  $2622 \pm 40$  Gammaquanten des  $^{40}\text{K}$ -Zerfalls.

Laut Eichkurve entspricht der Peak einer Energie von 1450 keV bis 1490 keV. Dies stimmt relativ genau mit dem erwarteten Wert aus der Tabelle von 1471 keV überein.

### **Aufgabe 3:**

Aktivität der  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle im Jahr 1990: 333 kBq

Aktivität heute (10 Jahre später):

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}; \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}; \quad T_{1/2} = 30,2 \text{ a}; \quad t = 10 \text{ a}; \quad A(t) = 333 \cdot 10^3 \text{ Bq};$$

$$\Rightarrow A(t) = 265 \text{ kBq};$$

**Annahme:** Die Oberfläche des Menschen wird als Rechteck betrachtet, mit einer Länge von 1,80 m und einer Breite von 30 cm:  $O_{\text{Mensch}} = 0,54 \text{ m}^2.$

Eine Strahlungsquelle strahlt radialsymmetrisch, also in einer Entfernung von 1 m auf die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius 1 m:  $O_{\text{Kugel}} = 4 \pi 1^2 \text{ m}^2 = 12,56 \text{ m}^2.$

Also trifft auf einen Menschen im Abstand 1 m folgender Bruchteil der Strahlung:

$$\varepsilon = \frac{O_{\text{Mensch}}}{O_{\text{Kugel}}} = 4,3 \%$$

Bei Gammaquanten mit  $E_\gamma = 662 \text{ keV}$  trifft also im Laufe eines Jahres folgende Energiemenge auf einen Menschen im Abstand 1 m (bei angenommener konstanter Aktivität):

$$E = (356 \cdot 24 \cdot 3600) \text{ s} \cdot 4,3 \% \cdot 265 \text{ kBq} \cdot 662 \text{ keV} = 38 \text{ mJ}.$$

Das entspricht einer Äquivalentdosis (bei einem Körpergewicht von 75 kg) von  $1 \cdot \frac{E}{m} = 50,6 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ .

### Messung 4: Uran- und Thoriumminerale

Es wird je zwei Minuten das Spektrum von Uran- und Thoriummineralien aufgenommen:

#### Uran (Pechblende aus St. Joachimsthal)



Kanal	Energie [keV]	Isotop
90	340	$^{214}\text{Pb}$ (352 keV)
160	600	$^{214}\text{Bi}$ (609 keV)
280	1170	$^{214}\text{Bi}$ (1120 keV)
427	1780	$\text{Bi}^{214}$ (1765 keV)
527	2200	
585	2500	

Für die vier letzten Werte muss die Eichkurve extrapoliert werden.

# Thorium



Kanal	Energie[keV]	Isotop
30	---	
155	590	<sup>208</sup> Tl (583 keV)

Andere Peakssind nicht deutlich zu erkennen.

## Aufgabe 4: Aktivität des <sup>40</sup>K (Messung 3)?

Der Peak enthält 2622 Zerfälle, die in 10 min gemessen wurden. Also ist die gemessene Aktivität:

$$A_{\text{gemessen}} = \frac{N}{t} = 4,37 \text{ Bq} .$$

## Anzahl der Mol in 100 g K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>?

$$m = 0,100 \text{ kg} ; M_{\text{K}_2\text{CO}_3} = (2 \cdot 39 + 12 + 3 \cdot 16) \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 138 \frac{\text{g}}{\text{mol}} ;$$

$$\Rightarrow n_{\text{K}_2\text{CO}_3} = \frac{m_{\text{K}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{K}_2\text{CO}_3}} = \frac{100}{138} \text{ mol} = 0,7246 \text{ mol} ;$$

$$\Rightarrow n_{\text{K}} = \langle \text{K} \rangle = 2 \cdot n_{\text{K}_2\text{CO}_3} = 1,449 \text{ mol Kalium sind in 100 g Kaliumcarbonat.}$$

## Anzahl der radioaktiven Atome in 100 g K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>?

Anteil der radioaktiven Atome am Kalium = 0,01 %  $\Rightarrow n_{\text{K}}^* = 1,449 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ , das sind  $N = n \cdot N_A = 8,73 \cdot 10^{19}$  radioaktive Atome.

## Aktivität des Kaliums?

$$T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ a} ; A(t) = \lambda \cdot N(t) ; T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow A(t) = \frac{\ln 2 \cdot N(t)}{T_{1/2}} = 1,48 \text{ kBq} ;$$

## Vergleich gemessene/berechnete Aktivität

Die Aktivität müsste also deutlich größer als der gemessene Wert sein:  $\frac{A_{\text{gemessen}}}{A_{\text{berechnet}}} = 0,30 \%$ .

Mögliche Gründe hierfür sind :

- Es werden bei weitem nicht alle Gammaquanten erfasst (nur ca. 20 % der einfallenden Quanten reagieren mit dem Kristall).
- Das Kaliumcarbonat strahlt radialsymmetrisch in alle Richtungen, der Detektor erfasst aber nur einen kleinen Raumwinkel.

### Messung 5: Messung einer Tschernobylprobe (Molkepulver)



Kanalnummer	Energie[keV]	Isotop
166	660	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)
274	1050	?
350	1450	$^{40}\text{K}$ (1471 keV)
420	1750	$^{214}\text{Bi}$ (1765 keV)

### Aufgabe 5: Berechnung der Strahlenbelastung bei Verzehr der Molke (Annahme: Bleibt 1 Woche im Körper, alle Gammaquanten werden gleichmäßig vom gesamten Körper absorbiert.)

**Annahme:** Alle Zerfälle gehen von Cs aus, weil die Berechnung der Energie für alle Zerfallsarten sehr aufwändig wäre. So erhält man eine untere Schranke für die Strahlenbelastung – weil die anderen Zerfälle energiereicher als Cs sind.

Zählrate:  $Z = 235261 \pm 485$  ;

bereinigt um die Untergrundstrahlung:  $Z' = 137380 \pm 485$  ;

Energie eines Gammaquants:  $E_\gamma = 662 \text{ keV}$  ;

Zeitraum 1 Woche:  $t = 3600 \cdot 24 \cdot 7 \text{ s}$  ;

absorbierte Energie während 1 Woche:

$$E = Z' \cdot t \cdot E_\gamma = 8,81 \mu\text{J};$$

Bei einem angenommenen Körpergewicht von  $m = 75 \text{ kg}$  ergibt sich eine wöchentliche Energiedosis von mindestens  $E/m = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$ .

Wie gesagt, das ist nur eine untere Schranke; die Äquivalentdosis zu berechnen hat hier keinen Sinn, weil für die verschiedenen Elemente verschiedene Zerfälle auftreten (z.B. Wismut: Alpha-Zerfall) und somit verschiedene Bewertungsfaktoren verwendet werden müssten.

### Messung 6: Messung des Weckers mit radioaktiv beschichteten Leuchtzeigern



Kanalnummer	Energie[keV]	Isotop
28	--	
157	600	$^{214}\text{Bi}$ (609 keV)
270	1080	$^{214}\text{Bi}$ (1120 keV)
416	1720	$^{214}\text{Bi}$ (1760 keV)
521	2180	?

Das Wismut hat zwar nur eine Halbwertszeit von ca. 20 Minuten, aber da es in der Uran-Radium-Zerfallsreihe liegt, wird es ständig neu produziert (vermutlich sind die Zeiger mit Radium-226 beschichtet).

### Messung 7: Messung der Höhenstrahlung

Um die sehr viel höherenergetische Höhenstrahlung nachweisen zu können, muss der Detektor neu geeicht werden. Hierzu wurde die Spannung am Photomultiplier verringert (auf 0,52 kV) und 15 Minuten lang ohne Bleiabschirmung gemessen.

Kanalbereich	Energie[keV]	Zählimpulse
100-199	7000	$169 \pm 13$
200-299	13000	$150 \pm 12$

Kanalbereich	Energie[keV]	Zählimpulse
300-399	17000	138 ± 12
400-499	23000	143 ± 12
500-599	27000	165 ± 13
600-699	33000	126 ± 11
700-799	37000	48 ± 7
800-899	43000	15 ± 4
900-999	47000	12 ± 3

### Aufgabe6:

Schätzen Sie die Strahlenbelastung durch die Höhenstrahlung pro Jahr:

Gesamtenergie über alle Kanäle:  $E_{ges} = \sum_{Ch} E_{Ch} \cdot I_{Ch} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ keV}$  in 15 Minuten; das ergibt pro Jahr

$$E_{Jahr} = (4 \cdot 24 \cdot 365) 9,6 \cdot 10^{-8} \text{ J}.$$

$$m_{Detektor} = 1,29 \text{ kg};$$

Die Äquivalentdosis beträgt also  $\frac{E_{Jahr}}{m_{Detektor}} = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Sv}.$

### Fragen

#### 1. Wie ist die Einheit keV definiert? Drücken Sie die Energie des im Text erwähnten kosmischen Teilchens ( $4 \cdot 10^{12} \text{ GeV}$ ) in Joule aus.

Ein keV ist die Energie, die ein geladenes Teilchen der Ladungsmenge 1 e erhält, wenn es eine Beschleunigungsspannung von 1 kV durchläuft.

$4 \cdot 10^{12} \text{ GeV} = 640 \text{ J}.$  Das ist die Energie, die ein Kernkraftwerk mit einer Leistung von 1 GW in 0,00000064 s erzeugt, bzw. die ein Psion-Organizer in ca. 1,8 Stunden verbraucht.

#### 2. Wieso haben die im Versuch beobachteten Peak seine Breite? Warum werden nicht alle Gammaquanten einer ganz bestimmten Energie in einem einzigen Kanal gezählt? Was versteht man unter dem Begriff Halbwertsbreite?

Die Gammaquanten werden nicht direkt gezählt, sondern mit Hilfe einer mehrerer Effekte (Photoeffekt, Comptoneffekt, Stoßionisation) und Geräte (Vorverstärker, AD-Wandler) mehrmals umgewandelt. Dabei kann Energie verloren gehen (z.B. bei elastischen Stößen der Elektronen mit ruhenden Teilchen, oder beim Comptoneffekt, bei dem nur ein Teil der Energie des Quants auf das Elektron übertragen wird) oder die Messung an der weitigunsscharf werden („Rauschen“ im Verstärker).

Die Halbwertsbreite ist die Breite eines Intervalls um den Peak, an dessen Grenzen die Zählrate die Hälfte der Zählrate am Maximum des Peaks.

#### 3. Erklären Sie, aus welchen Peak sich das $^{22}\text{Na}$ -Spektrum zusammensetzt und woher sie kommen (z.B. die 511 keV-Linie).

Nach dem  $\beta^+$ -Zerfall des  $^{22}\text{Na}$ -Kernes befindet sich der Tochterkern in einem angeregten Zustand; durch Abgabe eines Gammaquants der Energie 1276 keV geht er in den Grundzustand über. Dort ist also ein Peak zu sehen.

Wenn das entstandene Positron auf ein Elektron trifft, zerstrahlen sich beide unter Abgabe von zwei Gammaquanten. Da man Teilchen eine Ruheenergie  $m_e c^2$  zuordnet, und hier zwei Teilchen gleicher

Masse und somit Ruheenergie vernichtet werden, geht die Ruheenergie jedes Teilchens in ein Gammaquant über. Somit entstehen hier zwei Gammaquanten mit je 511 keV, was der Ruheenergie eines Positrons bzw. Elektrons entspricht. Hier ist ebenfall sein Peak zu sehen.

Wenn der Detektor zwei Gammaquanten gleichzeitig misst (weil seine zeitliche Auflösung dafür zu begrenzt ist), erscheint dies als Gammaquant mit der Summe der Energien der Einzelquanten:  $511 \text{ keV} + 1276 \text{ keV} = 1787 \text{ keV}$ , was der Energie des dritten Peaks entspricht.

#### **4. Wieso ist in den Spektren eine Linie bei 77 keV zu sehen? (Hinweis: Bleiabschirmung).**

Vermutlich werden hier Bleiatome angeregt; die Gammaquanten geben Energie an die Bleiatome ab (Comptoneffekt), wodurch Elektronen aus inneren Schalen (K-Schale) angeregt werden, die beim Zurückfallen in die K-Schale charakteristische Röntgenstrahlung abgeben.

Für die Energie von Lichtquanten gilt:  $E = \frac{hc}{\lambda}$  ;

die Wellenlänge der  $K_{\alpha}$ -Linie von Blei ist  $\lambda = 17,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ , das ergibt eine Energie von 72,9 keV (die anderen K-Linien sind entsprechend energiereicher), was diese Theorie belegt.

#### **5. In der Einführung wurde darauf hingewiesen, dass die einzige Aussage, die man über den Zerfall von Atomkernen machen kann, statistischer Natur ist. Der statistische Fehler, den Sie durch Zählender Zerfälle machen, ist $\Delta n = \sqrt{n}$ . Was bedeutet dies für hohe Zählraten?**

Gemäß dieser Formel wächst der Fehler  $\sqrt{n}$  wesentlich langsamer als  $n$  selbst; d.h. bei hohen Zählraten ist der Fehler klein und zu vernachlässigen.

#### **6. In einem frisch gereinigten langlebigen radioaktiven Präparat wie z.B. Rast steigt die Aktivität zunächst an. Bevor sich die Abnahme durch das Zerfallsgesetz bemerkbar macht, bleibt diese Aktivität jedoch lange Zeit nahezu konstant. Können Sie sich dieses Verhalten erklären? Denken Sie an die Erzeugung von Tochterkernen und anderen Zerfall.**

Wenn ein Atomkern zerfällt, dann ist er nicht verschwunden, sondern wurde in einen Tochterkern umgewandelt, der (1) ebenfalls radioaktiv sein kann und (2) kurzlebiger als der Mutterkern sein kann.

Wenn ein Kern eine kürzere Halbwertszeit hat, bedeutet das, dass die Aktivität (Zerfälle pro Zeit) höher ist (bei gleicher Anzahl der Atome), weil in kürzerer Zeit die Hälfte der Kerne zerfällt. Tochterkerne mit kürzerer Halbwertszeit haben also eine stärkere Aktivität.

Anfangs sind noch keine Tochterkerne vorhanden, sie werden erst erzeugt. Deshalb steigt die Aktivität an. Weil sie aber schneller zerfallen als die Mutterkerne, zerfallen pro Zeiteinheit mehr Tochterkerne als Mutterkerne. So stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein (so dass gleich viele Tochterkerne zerfallen wie neu gebildet werden – dazu müssen mehr Mutterkerne als Tochterkerne vorhanden sein, damit trotz geringerer relativer Aktivität der Mutterkerne genauso viele Mutterkerne zerfallen wie Tochterkerne). Dadurch bleibt die Aktivität konstant.

Dies kann in mehreren Stufen weitergehen (Tochterkerne können wiederum in radioaktive Kerne zerfallen, deren Radioaktivität sich überlagert) – bis schließlich Kerne in stabile Elemente umgewandelt werden, die nicht mehr zerfallen. Die Anzahl der radioaktiven Kerne nimmt hier also ab, und entsprechend dem Zerfallsgesetz auch die Aktivität.

#### **7. Wie kann $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden? Wie kosmische Strahlung?**

Strahlung, die stark mit Materie wechselwirkt, lässt sich gut abschirmen. Das trifft vor allem für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung zu (beides sind elektrisch geladene Teilchen); sie geben durch Stoßionisation viel Energie

ab, was man an ihren deutlichen, kurzen Spuren in der Nebelkammer sehen kann. Entsprechend wird die sehr stark ionisierende Alphastrahlung (daher ihr hoher Bewertungsfaktor bei der Berechnung der Äquivalentdosis) bereits durch ein Blatt Papier nahezu vollständig abgeschirmt, bei Betastrahlung reicht ein dünnes Metallblech.

Elektromagnetische Strahlung wechselwirkt wesentlich schwächer mit Materie, nämlich nur in Prozessen wie Photoeffekt, Comptoneffekt oder Elektronen-Positronen-Paarbildung (Spur in der Nebelkammer: sehr schwach und lang). Daher ist eine Abschirmung sehr schwierig; Gammastrahlung kann man nur mit mehreren Meter dicken Wänden aus Blei oder ähnlich dichten Stoffen (Beton, Wasser) ausreichend abschirmen. Bei noch energiereicherer Strahlung ist es entsprechend aufwändiger; um Astronauten auf einer zukünftigen bemannten Marsmission gegen die Strahlung bei Sonneneruptionen (Ionen und UV- bis Gammastrahlung) zu schützen, sind Schutzräume zwischen den Wassertanks geplant, aber ein Schutz gegen die ständig vorhandene kosmische Strahlung ist unmöglich. Auf der Erde werden wissenschaftliche Experimente zum Nachweis von Neutrinos mehrere hundert Meter tief unter der Erdoberfläche gebaut, um einen maximalen Schutz gegen diese Störstrahlung zu erhalten.

### **8. Warum sieht man bei Th-Linien bei 2615 keV, 2104 keV und 1593 keV?**

Wenn man die Thorium-Zerfallsreihe anschaut, findet man die Energie 2615 keV beim Zerfall eines Tochterkerns, dem Thallium-208. Daher stammt diese 2615 keV-Linie. Die anderen beiden Energien müssen anders entstanden sein; man stellt fest, dass die Differenz zwischen den drei Energien jeweils 511 keV beträgt (was die Ruheenergie eines Elektrons ist). Erklärung: Ein beim Zerfall des Thallium ausgesandtes Gammaquant mit 2615 keV erzeugt ein Elektron-Positron-Paar (und verliert dabei die Summe der Ruheenergien beider Teilchen, nämlich  $1022 \text{ keV}$ , es hat nun noch  $2615 - 1022 = 1593 \text{ keV}$  Energie). Das Positron trifft dann auf ein Elektron und zerstrahlt mit diesem in zwei Gammaquanten mit je 511 keV. Da der Detektor nicht alle Gammaquanten erfasst, kann es sein, dass eines oder beide 511 keV-Quanten nicht registriert werden, d.h. entweder das Quant mit 1593 keV alleine oder überlagert mit einem 511 keV-Quant (ergibt 2104 keV) wird registriert, daraus ergeben sich diese anderen beiden Linien.

### **9. Überlegen Sie sich Schritt für Schritt, was passiert, wenn ein $\gamma$ -Quant in den NaI-Kristall fällt, absorbiert wird und schließlich in einen Kanal auf dem Bildschirm gezählt wird.**

- Das Gammaquant wird im Szintillatorkristall absorbiert durch Photoeffekt oder Comptoneffekt oder Paarbildung.
- Die dadurch entstehenden schnellen Elektronen verlieren ihre Energie in sehr zahlreichen Stoßionisationen (d.h. die Energie eines schnellen Elektrons verteilt sich auf viele, relativ langsame Elektronen).
- Die langsamen Elektronen regen die Thallium-Atome im Kristall an (indem sie die Valenzelektronen anregen), die beim Zurückfallen auf das ursprüngliche Energieniveau Lichtblitze erzeugen.
- Diese Lichtblitze erzeugen durch Ionisation im Photomultiplier am Ende des Kristalls Elektronen (Photoeffekt).
- Die Photoelektronen werden im anschließenden Halldetektor durch Hochspannung beschleunigt, so dass sie beim Abbremsen weitere Elektronen herausgelöst werden. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt (durch Kaskadierung), so dass die Anzahl der Elektronen vervielfacht wird.
- Der Stromstoß wird durch den Vorverstärker zum Analog-Digital-Wandler übertragen, dessen Ausgabe vom Computer einem entsprechenden Kanal zugeordnet und graphisch angezeigt wird (bei diesem Kanal wandert das Pixel ein Stück nach oben).

Somit ruft ein Gammaquant mit einer bestimmten Energie ein schnelles Elektron mit einer bestimmten

kinetischen Energie hervor, das seine Energie bei der Stoßionisation auf viele Elektronen verteilt, die mit dem Thallium Lichtblitze mit fester Energie erzeugen; die Anzahl der Lichtblitze und somit der im Detektor registrierten Photoelektronen ist also proportional zu der Energie des ursprünglichen Gammaquants.

### **10. Ist Ihnen jetzt die Radioaktivität klarer geworden? Haben Sie Verbesserungsvorschläge zum Versuch?**

Die Radioaktivität an sich war mir schon aus der Schule (Physik-LK) klar. Allerdings war es das erste praktische Experiment, das ich dazu gemacht habe.

Gut fand ich, dass nicht nur 'synthetische' (nur zum Experimentieren hergestellte) Strahlungsquellen untersucht wurden, sondern auch Dinge aus dem täglichen Leben (z.B. das radioaktive Molkepulver aus der Nachbarschaft, der Pechblende-Stein aus dem Erzgebirge...).

Verbesserungsvorschläge: Die Messungen dauern relativ lange und sind vom Verfahren her alle sehr ähnlich. Es wäre wohl kein Problem, wenn weniger Messungen verlangt würden (z.B. bei Messung 6: eine Messung sollte reichen), das Verständnis wird dadurch nicht beeinträchtigt. Falls bei einer Messung ein interessantes Ergebnis auftaucht, könnte statt der Messung das Ergebnis angegeben sein, zusammen mit der Aufgabe, es zu interpretieren. Dass bei diesem Praktikumsversuch relativ viele Fragen zu beantworten waren statt endloser Auswertungsrechnungen, fand ich gut.