

Für die Spektroskopie hochenergetischer Gammastrahlung werden Ge-Halbleiterdetektoren verwendet. Sie haben eine sehr gute Energieauflösung bei hoher Effizienz. Sie eignen sich zur Identifizierung von Isotopen, die Gamma-Strahlung abgeben (Abb. 2). Sie bestehen aus einem in Sperrichtung betriebenen pn-Übergang. In der Verarmungszone wird durch eintretende Photonen eine Spur von Elektronen-Loch-Paaren erzeugt, die durch die anliegende Sperrspannung getrennt werden und als eine über  $R_G$  abfließende Ladung einen Spannungspuls erzeugt, der im Vorverstärker verarbeitet wird.

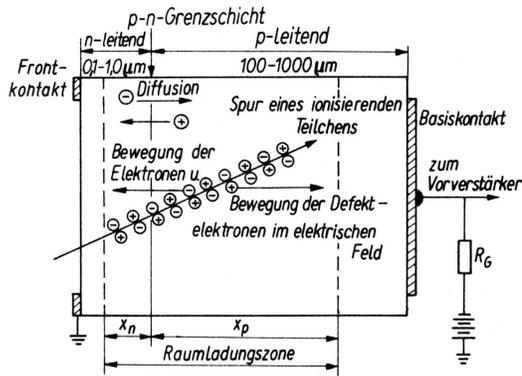
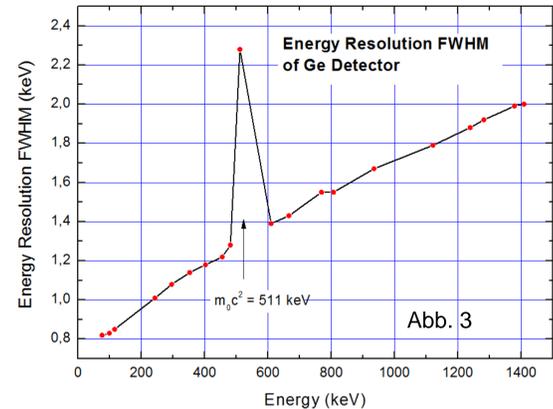
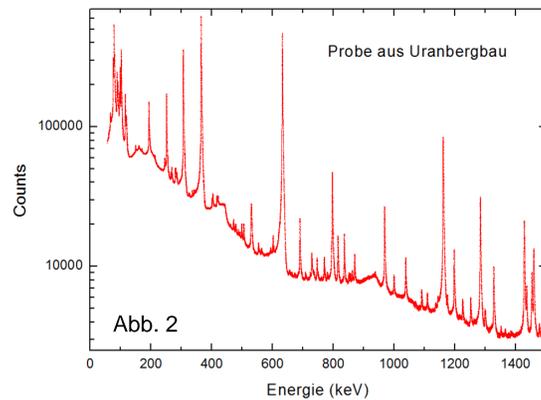
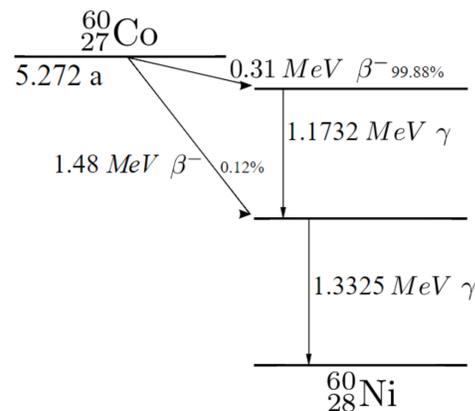
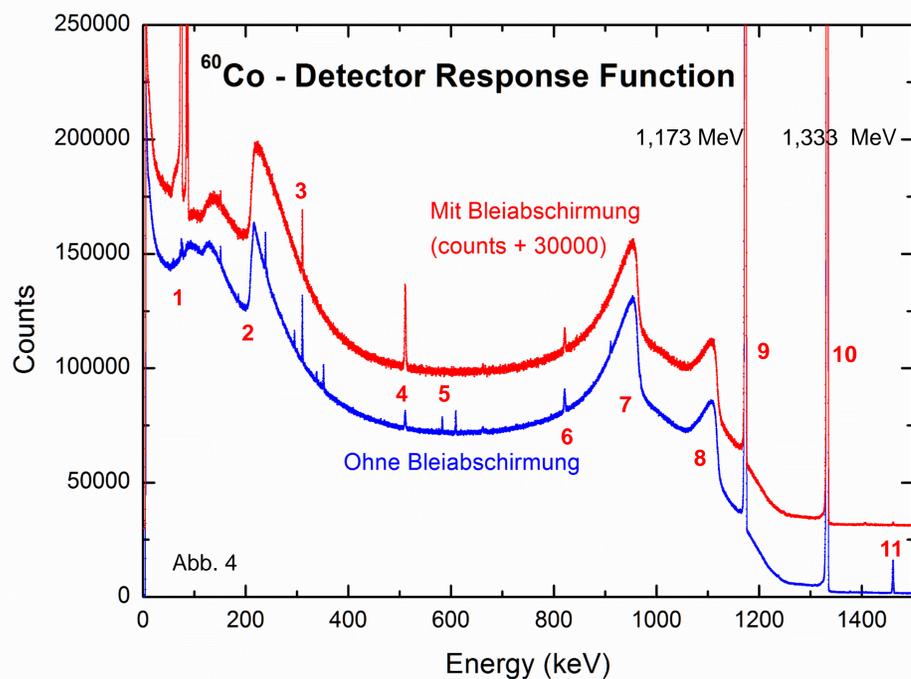


Abb. 1 Aufbau eines Halbleiterdetektors mit innerem pn-Übergang

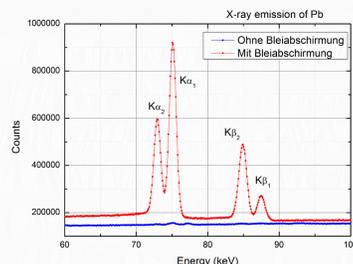


Typisch für Energiespektren von Ge-Detektoren sind scharfe Peaks, die man Photopeaks nennt. Sie entstehen, wenn die gesamte Gamma-Energie in der Verarmungszone in Elektronen-Loch-Paare umgewandelt wird. Die Peakpositionen entsprechen dann mit hoher Präzision den Gamma-Energien einzelner Isotope, die tabelliert sind und der Identifikation des Isotops dienen können. Die Energieauflösung des Detektors wird mit zunehmender Photonen-Energie schlechter (Abb. 3). Der Peak bei  $m_0c^2 = 511$  keV ist deshalb deutlich breiter, weil hier eine Dopplerverbreiterung infolge des nichtverschwindenden Elektronenimpulses vorliegt (Bandstruktur). Das Positron trägt zu der Verbreiterung nicht bei, da immer nur eines vorhanden ist, das thermalisieren kann.



Selbst wenn (wie im Fall von  $^{60}\text{Co}$ ) nur zwei Energien existieren, findet man im Spektrum viele Linien und Strukturen, die „Detektor-Response Funktion“. Im Einzelnen sind das:

**1** Diese Struktur ist Röntgen-Fluoreszenz-Strahlung der Detektorumgebung, hier der Bleiabschirmung. Sie fehlt, wenn die Abschirmung entfernt wird. Rechts ist der Bereich um 80 keV gezeigt. Es handelt sich um Übergänge in der K-Schale.



**7 und 8** Diese Strukturen nennt man Compton-Kante des entsprechenden Photo-Peaks. Sie entspricht der maximal im Detektor umgesetzten Energie bei  $180^\circ$  Rückstreuung entsprechend

$$E_e(\Phi) = E_\gamma \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos(\Phi))} \right)$$

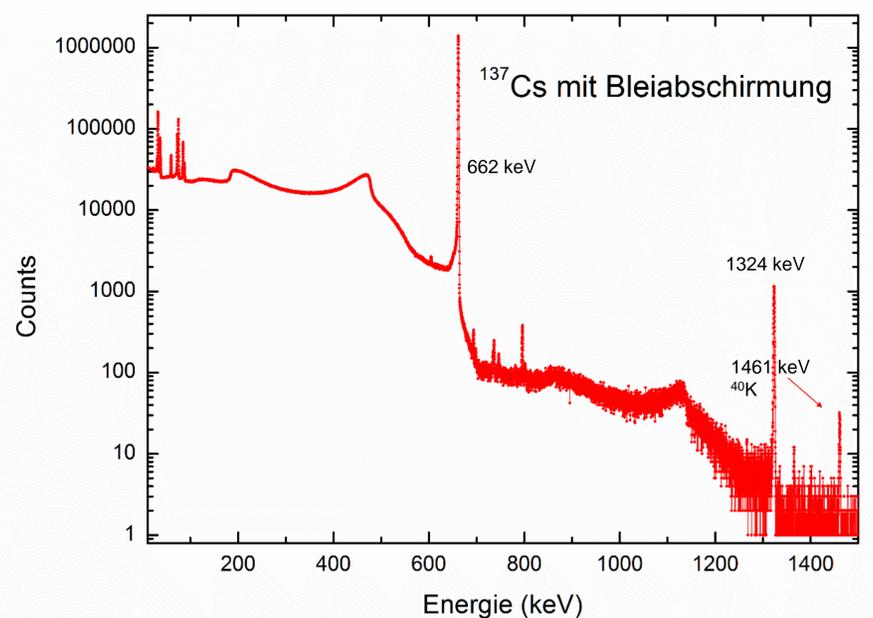
**2** Diese Struktur ist der Rückstreupic, der sich aus der Comptonstreuung durch ein Photon ergibt, das außerhalb des Detektors gestreut wird (in der Quelle, der Abschirmung oder in Teilen des Detektors außerhalb der Verarmungszone). Für die 1,33 MeV-Linie liegt er bei der Differenz zwischen dieser Gamma-Energie und der eigentlich Comptonkante  $1,17 \text{ MeV} - 1,1 \text{ MeV} = 0,233 \text{ MeV}$ .

**3 und 6** Diese Linien nennt man Escape (6) und Double Escape (3) Linien. Es handelt sich um ein Paarbildungsereignis der 1,33 MeV-Linie, bei dem ein 511 keV-Quant (6) oder beide 511 keV-Quanten (3) ohne Energieverlust den Detektor verlassen:  $1333 - 511 = 0,822 \text{ keV}$  bzw.  $1333 \text{ keV} - 1022 \text{ keV} = 311 \text{ keV}$ .

**4** Diese Linie entspricht der Energie von  $m_0c^2$ . Sie resultiert aus der Annihilation der durch Paarbildung erzeugten Positronen. Sie kommt zustande, weil beide Gamma-Energien oberhalb von  $2 \times m_0c^2 = 1022 \text{ keV}$  liegen.

**5 und 11** Diese Linien, die mit der Bleiabschirmung verschwunden sind, stammen aus der Laborumgebung, wie die  $^{40}\text{K}$ -Linie bei 1461 keV (11).

**9 und 10** Diese beiden Linien von 1173 und 1333 keV sind die beiden Haupt-Gamma-Linien des Isotops  $^{60}\text{Co}$  ( $\beta^-$  Zerfall). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist für beide fast 100%. Der Grund: es handelt sich um einen metastabilen Kernzustand des entstehenden  $^{60}\text{Ni}$ -Kerns der beim Abklingen diese Kaskade erzeugt.



- Wenn man die Energiespektren logarithmisch aufrägt, erkennt man dass sich das Spektrum mit sehr kleiner Intensität hinter dem Hauptpeak wiederholt. Es handelt sich um Ereignisse, wo Photonen aus dem Spektrum sich zur Hauptlinie addieren, weil die beiden Photonen praktisch gleichzeitig innerhalb der Verarbeitungszeit auftreten. Diesen Effekt nennt man „Pile-Up-Effekt“.
- Die Spektren unterscheiden sich außerdem im Fehlen der Annihilations- und Escape-Linien, weil die Gammaenergie von  $^{137}\text{Cs}$  662 keV beträgt und damit unter der Paarbildungsenergie liegt.
- Dieses Isotop hat eine Halbwertszeit von 30,01 a und ist heute das hauptsächliche Überbleibsel des Reaktorunfalls von Tschernobyl im Jahre 1986.

