

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 42 (1969)
Heft: 7-8

Artikel: Messung von Konversionskoeffizienten mit einer Ge-(Li)-Diode
Autor: Baldinger, E. / Haller, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-114102>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Messung von Konversionskoeffizienten mit einer Ge-(Li)-Diode

von E. Baldinger und E. Haller

Institut für angewandte Physik der Universität Basel

(25. VI. 69)

Summary. High resolution Ge(Li)-detectors, produced in our laboratory, were used to register simultaneously gammas and conversion electrons of nuclear transitions. Registration with arbitrarily narrow window can be achieved by direct irradiation of the intrinsic volume of the diode. Good agreement of the internal conversion coefficients α_K of 570 keV- ^{207}Pb , 1064 keV- ^{207}Pb and 662 keV- ^{137}Ba transitions with previous measurements has been found. The corresponding relative coefficients α_K/α_L and α_K/α_{M+N} do not appear to be published as yet and consequently only the values obtained at this laboratory are presented. The accuracy of the method is limited by the error in the full energy peak efficiency of the Ge(Li) detector and is in our experiments about 10% for α_K and < 10% for the α_K/α_L and α_K/α_{M+N} . The simple experimental arrangement and the rapidity with which results can be obtained give this method considerable preference. On the other hand irradiation into the intrinsic zone may imply difficulties concerning the surface treatment.

1. Experimentelle Anordnung

Der Übergang eines Kerns von einem Anfangs- in einen Endzustand ist von der Emission eines Gammaquants oder eines Hüllenelektrons, eines sogenannten «inneren Konversionselektrons» begleitet.

Allgemein wird ein innerer Konversionskoeffizient α_i wie folgt definiert:

$$\alpha_i = \frac{N_{ei}}{N_\gamma}$$

N_{ei} = Anzahl emittierter Elektronen pro Zeiteinheit aus der i -ten Schale,

N_γ = Anzahl emittierter Gammaquanten pro Zeiteinheit.

Da der Betrag von α_i unter anderem von der Multipolordnung des Übergangs abhängt, können gemessene α_i zu deren Bestimmung dienen. Das hat zu einer raschen Entwicklung der Methoden zur Messung von Konversionskoeffizienten geführt. Über die verschiedenen experimentellen Anordnungen geben die Artikel von HAMILTON et al. [5] und SUBBA RAO [6] einen guten Überblick.

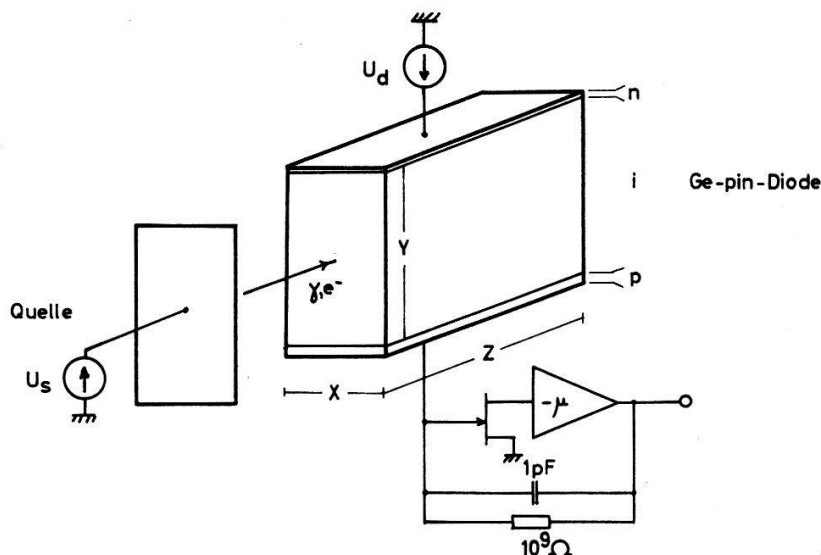
Im Zusammenhang mit der Herstellung und Anwendung von Ge(Li)-Dioden haben wir eine von der üblichen abweichende, experimentelle Anordnung zur Bestimmung von Konversionskoeffizienten aufgebaut und getestet.

Eine Ge(Li)-Planardiode wird über einen Kühlfinger aus einem «Linde»-Vorratsgefäß gekühlt. Eine 8 l-Varian-Ionengetterpumpe hält ein Vakuum von ca. 10^{-8} Torr aufrecht. Da das Spektrometer fensterlos arbeiten soll, wird die zu untersuchende Isotopenquelle mit in den Kryostaten eingebaut und auf einer Hochspannungsdurchführung gehalten. Die Quelle kann auf ein gewünschtes Potential U_s gebracht werden, was zur Verschiebung der Konversionselektronenlinien führt (2).

Für sämtliche Messungen verwendeten wir eine Diode mit den folgenden Dimensionen:

$$X = 0,5 \text{ cm}, \quad Y = 0,72 \text{ cm}, \quad Z = 1,58 \text{ cm}.$$

Elektronen und Gammaquanten wurden in die XY -Oberfläche in Z -Richtung, also direkt in die Intrinsiczone, eingestrahlt (Fig. 1).



Figur 1

Geometrische Anordnung von Quelle und Diode.

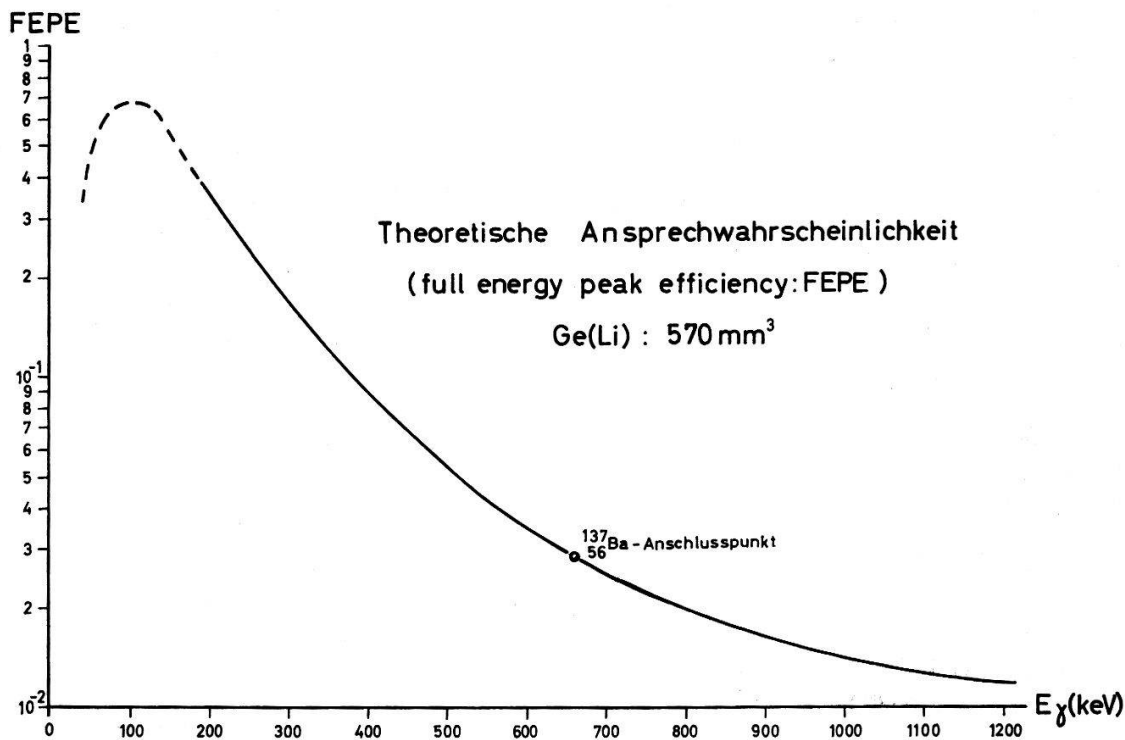
Der elektronische Teil der Apparatur besteht wie üblich aus einem ladungsempfindlichen Vorverstärker mit gekühlter FET-Eingangsstufe, einem RC-RC-Verstärker und einem 400-Kanal RCL-Impulshöhenanalysator.

Der einfache mechanische Aufbau ermöglicht ein Auswechseln der Proben in vernünftiger Zeit. Dazu muss die Diode auf Zimmertemperatur erwärmt werden. Um einer Verunreinigung der Diode und des Kryostaten vorzubeugen, wird dieser vor und nach dem Quelleneinbau mit reinem N_2 gespült. Nach kurzem Redrift kann die Diode erneut gekühlt werden.

2. Registrierung von Gammastrahlen

Da wir zur Bestimmung von Konversionskoeffizienten die Photolinie (besser: Full Energy Peak) der Gammastrahlen verwenden, muss die entsprechende Ansprechwahrscheinlichkeit der Diode (full energy peak efficiency) bekannt sein. Gammastrahlen im Energiebereich 100 keV–1 MeV können ihre Energie durch Photo- oder Comptoneffekt verlieren. Im ersten Fall entsteht eine der Primärenergie der Gammastrahlung proportionale Ladung, die der Photolinie im Energiespektrum entspricht. Im zweiten Fall verteilt sich die Primärenergie auf ein Comptonelektron und ein gestreutes Gammaquant γ' . Wird γ' durch Photoeffekt absorbiert, so entspricht die gesamte entstandene Ladung wieder der Energie des primären Gammaquants, das heißt, dass auch dieses in die Photolinie gezählt wird. Eine Computerrechnung ergibt, dass für unsere Diodenabmessungen (Fig. 1) dieser Beitrag bei 300 keV bereits ca.

10% ist und bei 1 MeV die Photolinie einen Faktor zwei überhöht (Beitrag $\sim 100\%$). Die Absorptionskoeffizienten sind den Tabellen von STORM et al. [3] entnommen. Ähnliche Rechnungen haben WAINIO et al. [7] und DE CASTRO FARIA et al. [8] durchgeführt.



Figur 2

Berechnete und angeschlossene Ansprechwahrscheinlichkeit der Diode für Gammastrahlung (full energy peak efficiency).

Die so erhaltene funktionelle Abhängigkeit der Ansprechwahrscheinlichkeit (full energy peak efficiency) von der Energie stimmt gut mit dem experimentellen Kurvenverlauf überein. Mit einer geeichten Quelle oder mit Kernübergängen, deren Konversionskoeffizienten gut bekannt sind, lassen sich die experimentellen Kurven mit den errechneten in Übereinstimmung bringen (Fig. 2). In unserem Falle wurde der gut bekannte 662 keV-Übergang des $^{137}_{56}\text{Ba}$ als Anschlusspunkt verwendet.

3. Registrierung von Konversionselektronen

Damit sich die gute Energieauflösung des Spektrometers auch für Elektronen ausnützen lässt, sind diese möglichst fensterlos zu registrieren. Da die Quelle gegenüber der *i*-Zone der Diode im Kryostaten gehalten ist, müssen noch 3 Einflüsse berücksichtigt werden.

Die Eigendicke der Quellen wurde durch geeignete Herstellung ausreichend klein gehalten. Dazu liessen wir aus trägerfreier HCl-Lösung das radioaktive Isotop elektrolytisch auf ein geläpptes und geätztes Ge-Plättchen abscheiden. Aus der Reinheit der radioaktiven Lösung und der Aktivität der Quelle schliessen wir auf eine Eigendicke von unter 100 Å. Die Herstellung von Quellen durch Eintrocknen radio-

aktiver Lösungen bewährte sich nicht, da sich in den meisten Fällen die Bildung grösserer Kristalle schlecht vermeiden liess. Gewisse Quellen lassen sich durch Aufdampfen und nachträgliches Aktivieren im Reaktor herstellen.

Eine weitere absorbierende Schicht stellt die immer vorhandene Oxydschicht an der Diodenoberfläche dar. Deren Dicke dürfte einige 100 Å nicht überschreiten. Ihr Einfluss ist demnach vernachlässigbar. Die Elektronen, die auf die *i*-Zone auftreffen, gelangen somit ohne wesentlichen Energieverlust in die Intrinsiczone und somit in das Zählvolumen der Diode. Die Experimente zeigen, dass trotz dieser Voraussetzungen die Elektronenlinien nach tieferen Energien stark ausgeschmiert sein können. Die Ursache für diese Ladungsverluste liegt vermutlich in einer «Channel»-Bildung an der Oberfläche und einer daraus folgenden Veränderung des elektrischen Feldes. Dafür spricht auch die gelegentlich auftretende zeitliche Verschlechterung der Elektronenlinien. In diesem Zusammenhang wurden Impulse aus dem Vorverstärker mit stark verlängerter Anstiegszeit beobachtet. Neben den erwähnten Oberflächeneinflüssen können sie auch von den *p-i* und *i-n* Übergängen verursacht sein. Darüber sind Untersuchungen im Gange.

In den meisten Fällen ergibt unsere Behandlung der Diode eine brauchbare Oberfläche. Die Brauchbarkeit der Diode zum Nachweis von Elektronen ist im weiteren stark abhängig vom geeigneten Redriftprozess und der Reinheit des verwendeten Kryostaten.

Die an die Diode angelegte Spannung ergibt bei guter Oberfläche eine lineare Potentialzunahme über die Intrinsiczone vom *n*- zum *p*-Kontakt. Elektronen mit verschiedenem Eintrittsort durchlaufen deshalb nicht die gleiche Potentialdifferenz $V_{\text{Quelle}} - V_{\text{Diode}}$, was einen entsprechenden Beitrag zur Verbreiterung der Elektronenlinien darstellt. Aus diesem Grund soll die Diodenspannung nur so hoch gewählt werden, wie dies für die einwandfreie Ladungssammlung nötig ist (~ 100 V/mm). Unter diesen Voraussetzungen darf man annehmen, dass alle Konversionselektronen in die entsprechende Linie gezählt werden. Die Integration über die Linie ergibt die Anzahl N_{ei} der auf die *i*-Zone aufgetroffenen Elektronen.

4. Messungen und Resultate

4.1 Eichung der Ansprechwahrscheinlichkeit (full energy peak efficiency)

Die Ansprechwahrscheinlichkeit wurde unter der Voraussetzung parallel einfallender Gammastrahlung berechnet. Die im folgenden angegebenen Abschätzungen zeigen, dass dies trotz flächenhafter Quelle im Abstand $d = 1$ cm von der Diode erlaubt ist. Wir stellen uns die Quelle als eine Gesamtheit einzelner Punktquellen vor. Für die Punktquelle auf der Symmetrieachse des Diodenzählvolumens (quaderförmig, Fig. 1) wächst der Verlust an Ansprechwahrscheinlichkeit in den Randpartien mit steigender γ -Energie und liegt bis zu 1 MeV unterhalb 10%. Für kleinere Gammaenergien nimmt die Absorption der Diode stark zu, sodass sich die Ansprechwahrscheinlichkeit derjenigen für parallel einfallende Strahlung nähert. Für eine Punktquelle im Abstand q von der Symmetrieachse ändert sich die Ansprechwahrscheinlichkeit mit $(q/d)^2$. Da $(q/d)^2$ in unserem Falle ausreichend kleiner als 1 ist, ist dieser Einfluss innerhalb der angegebenen Fehlergrenzen vernachlässigbar. Der so berechnete Verlauf der Ansprechwahrscheinlichkeit wurde an den gut bestimmbaren Wert bei

662 keV angeschlossen. Dieser Wert lässt sich aus dem α_K des 662 keV-Übergangs von ^{137}Ba ermitteln (von MERRITT [9] sehr genau gemessen).

4.2 Bestimmung der Intensität von Konversionselektronen- und Photolinien

Die Intensitäten der zur Bestimmung der Konversionskoeffizienten benötigten Linien wurden mit Hilfe eines Computerprogramms auf einer UNIVAC 1108 berechnet. Das Programm erlaubt es bis zu 3 überlappende Gausskurven mit je 3 variierbaren Parametern (Halbwertsbreite, Ort des Maximums und Fläche) zu entschmieren. Eine gewisse Willkür liegt in der Annahme über den Verlauf des Untergrundes innerhalb der Linie. Unterhalb jeder Linie nimmt dieser um einen der Linienintensität proportionalen Wert zu. Die Auswertung der Spektren mit verschiedenem Untergrundverlauf ergibt eine Unsicherheit in den Linienintensitäten unter 5%.

4.3 Bestimmung von Konversionskoeffizienten

4.3.1 Fehler und Resultate

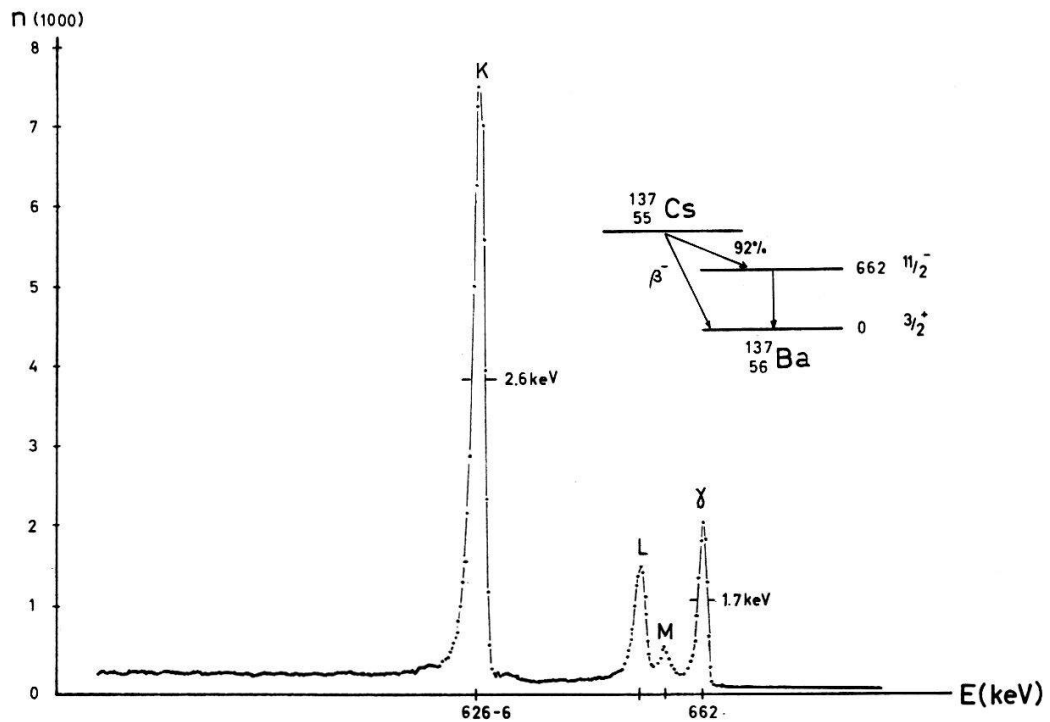
Die erreichbare Genauigkeit in der Bestimmung der α_K ist im wesentlichen durch die Unsicherheit in der Ansprechwahrscheinlichkeit gegeben. STEINER et al. [11] haben bestätigt, dass unser Verlauf der Ansprechwahrscheinlichkeit im Bereich von 100 keV bis 1 MeV besser als 15% mit der wahren Ansprechwahrscheinlichkeit übereinstimmt. Eine Eichung über diesen Energiebereich mit kalibrierten γ -Quellen würde den Fehler auf schätzungsweise 10% erniedrigen.

Die Gefahr, dass unbrauchbare Zonen im Intrinsicvolumen der Diode die Resultate verfälschen ist gering. Einerseits werden nur kleine Dioden mit Sperrströmen unter 100 pA, die aus grossen Einkristallen stammen, verwendet. Andererseits sind unbrauchbare Zonen verhältnismässig gut an der Verschlechterung des γ -Spektrums zu erkennen.

Im Gegensatz zu den absoluten α_K lassen sich die Verhältnisse α_K/α_L und α_K/α_{M+N} wesentlich genauer bestimmen. Da bei der Registrierung der Elektronen nur die Energie und zwar relativ wenig variiert, sonst aber alle Parameter bleiben, schätzen wir den Fehler unserer Resultate zu ca. 5%. Auch die Qualität der Elektronenlinien spielt eine untergeordnete Rolle, da alle in der gleichen Weise verschlechtert werden. Wir haben aus Spektren unterschiedlicher Qualität dieselben Resultate für die α_K/α_L und α_K/α_{M+N} erhalten. Der Fehler für α_K/α_{M+N} dürfte ein wenig grösser sein, da die Zählstatistik in der $(M+N)$ -Konversionselektronenlinie bereits eine Rolle spielt. Zum Vergleich unserer Ergebnisse mit früheren Messungen sind die genauesten Werte aus den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt. Die theoretischen Werte stützen sich auf die Arbeiten von SLIV und BAND [10].

4.3.2 662 keV- $^{137}_{56}\text{Ba}$ -Übergang

Auf den β^- -Zerfall des $^{137}_{55}\text{Cs}$ -Kerns, der zum angeregten Zustand von $^{137}_{56}\text{Ba}$ führt, erfolgt der Übergang dieses Kerns in den Grundzustand unter Emission von M4-Gamma- oder Konversionselektronenstrahlung. Der gut bekannte Wert von α_K für diesen Übergang wurde zur Eichung der Ansprechwahrscheinlichkeit herangezogen. Das Spektrum in Figur 3 zeigt die entsprechenden γ - und Konversionselektronenlinien.



Figur 3

Gamma- und Konversionselektronenspektrum des 662 keV- $^{137}_{56}\text{Ba}$ -Übergangs. Vorspannung der Quelle $U_s = +6$ kV, Betriebsspannung der Diode $U_d = 1400$ V.

Für die relativen Konversionskoeffizienten erhalten wir folgende Werte:

	Theor. Werte [5]	Exp. Werte [12]
$\alpha_K/\alpha_L = 5,25 \pm 0,30$	5,4	$5,63 \pm 0,38$
$\alpha_K/\alpha_{M+N} = 12,4 \pm 1,0$	—	$19 \pm 4^1)$

4.3.3 570 keV- $^{207}_{82}\text{Pb}$ -Übergang

Das 570 keV-Niveau des $^{207}_{82}\text{Pb}$ -Kerns wird durch den radioaktiven Zerfall des $^{207}_{83}\text{Bi}$ -Kerns (K -Einfang) bevölkert. Der angeregte Pb-Kern geht unter elektrischer Quadrupolstrahlung in den Grundzustand über. Ein typisches Spektrum zeigt Figur 4. Wir erhalten die folgende Werte:

	Theor. Werte [5]	Exp. Werte [4], [5]
$\alpha_K = 0,015 \pm 3$	0,0159	$0,0160 \pm 40$
$\alpha_K/\alpha_L = 3,00 \pm 0,15$	3,2	3,5
$\alpha_K/\alpha_{M+N} = 8,95 \pm 0,60$	—	—

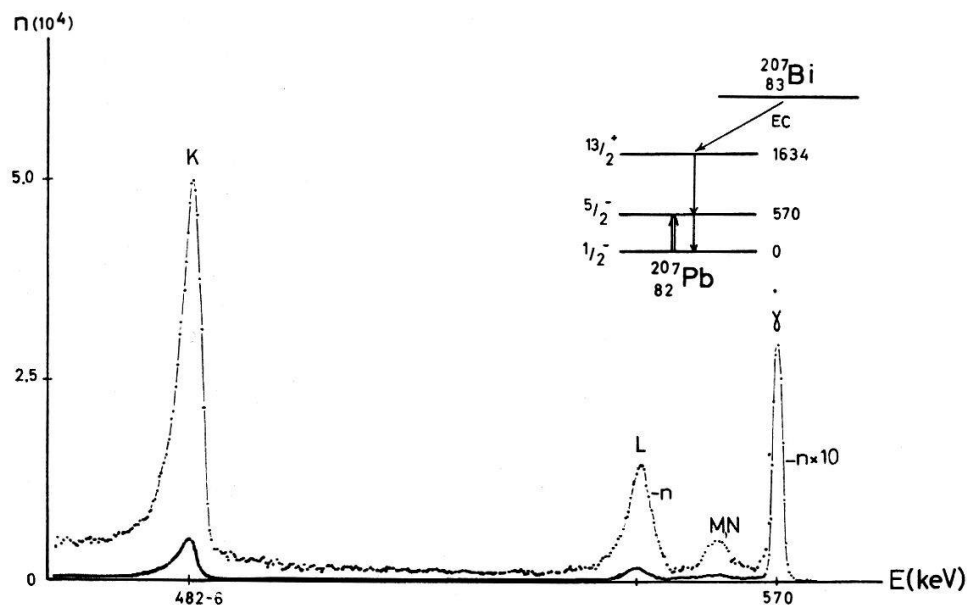
4.3.4 1064 keV- $^{207}_{82}\text{Pb}$ -Übergang

Die folgenden Resultate wurden mit derselben Quelle wie in 5.2.2 erhalten. Es handelt sich um einen M4-Übergang desselben Kerns. Figur 5 zeigt ein entsprechendes Spektrum.

¹⁾ Die Fehlerangabe des Autors enthält nur den Anteil des statistischen Fehlers.

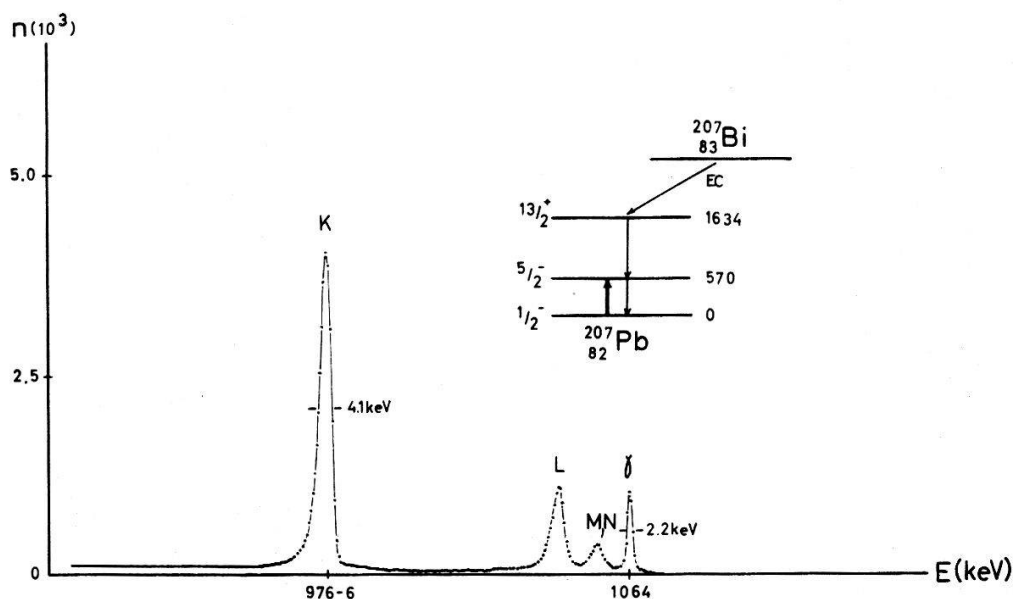
		Theor. Werte [5]	Exp. Werte [4], [5]
α_K	$= 0,095 \pm 14$	0,095	$0,096 \pm 4$
α_K/α_L	$= 3,20 \pm 0,15$	3,87	4,14
α_K/α_{M+N}	$= 9,02 \pm 0,60$	—	—

Abschliessend sei bemerkt, dass eine direkte Einstrahlung von Konversionselektronen in die Intrinsiczone eine sorgfältige Behandlung der Oberfläche der Zähl-diode bedingt.



Figur 4

Gamma- und Konversionselektronenspektrum des 570 keV- ^{207}Pb -Übergangs. $U_s = +6$ kV, $U_d = 800$ V.



Figur 5

Gamma- und Konversionselektronenspektrum des 1064 keV- ^{207}Pb -Übergangs. $U_s = +6$ kV, $U_d = 800$ V.

Unser Dank gilt Herrn G. MATILE für die wertvolle Hilfe und Beratung bei der Herstellung der Dioden, sowie dem Schweizerischen Nationalfonds für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Literaturverzeichnis

- [1] E. BALDINGER und E. HALLER, *Gleichzeitige Registrierung von Gammas und Elektronen mit einer Ge-pin-Diode*, Helv. phys. Acta **40**, 800 (1967).
- [2] E. BALDINGER, E. HALLER und G. MATILE, *Eine Methode zur besseren Trennung von Konversionselektronen- und Gammalinien bei gleichzeitiger Registrierung mit Hilfe einer Ge-pin-Diode*, Helv. phys. Acta **41**, 425 (1968).
- [3] E. L. STORM, E. GILBERT, H. ISRAEL, Los Alamos Report LA-2237 (1958).
- [4] C. M. LEDERER, J. M. HOLLANDER, I. PERLMAN, *Table of Isotopes*, 6th Edition 1968.
- [5] J. H. HAMILTON et al., *Experimental Values of Internal-Conversion Coefficients of Nuclear Transitions: Total and K-Shell Coefficients and L-Subshell Coefficients Ratios*, Nucl. Data **1 A**, 521 (1965/66).
- [6] B. N. SUBBA RAO, *Determination of Internal Conversion Coefficients*, Nucl. Instr. Meth. **45**, 22 (1966).
- [8] N. V. DE CASTRO FARIA and R. J. A. LÉVESQUE, Nucl. Instr. Meth. **46**, 325 (1967).
- [9] JANET S. MERRITT and J. G. V. TAYLOR, Anal. Chem. **37**, 351 (1965).
- [10] L. A. SLIV and I. M. BAND, K. SIEGBAHN, *Alpha-, Beta- and Gamma-Spectroscopy*, Vol. 2 (1965).
- [11] E. STEINER, P. HUBER, W. SALATHE und R. WAGNER, *(n, 2 n)-Querschnitte und Isomerquerschnittsverhältnisse in ^{76}Ge und ^{165}Ho im Energiebereich von 12,5 bis 18,5 MeV*, Helv. phys. Acta (im Druck).
- [12] J. H. HAMILTON, *Internal Conversion Processes*, 393–398 (1966).