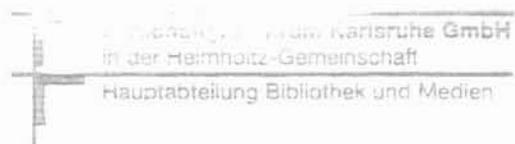


KFK-379

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

August 1965



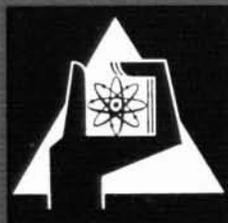
Gesellschaft für Kernforschung M.B.H. Karlsruhe GmbH  
in der Heilmholtz-Gemeinschaft  
Hauptabteilung Bibliothek und Medien

KFK 379

Institut für Radiochemie

Über den Zerfall von  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$

H. Münzel, E. Gantner



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



## Über den Zerfall von $^{158}\text{Eu}$ und $^{159}\text{Eu}$

Von H. MÜNDEL und E. GANTNER, Institut für Radiochemie, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Mit 5 Abbildungen. (Eingegangen am 30. Oktober 1964)

**Zusammenfassung** Der Zerfall der Europium-Isotope  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  wurde mittels  $\beta$ -Zähler und NaJ-Scintillationsspektrometer untersucht. Die Analyse der  $\gamma$ -Spektren ergab die Energie und relative Intensität der  $\gamma$ -Linien für  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$ . Mit einer schnellen Koinzidenzanordnung wurden die  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzen der Linien des  $^{158}\text{Eu}$  mit einer Energie von  $> 0,9$  MeV ermittelt. Die numerische Analyse der Abfallskurven ergab folgende Halbwertszeiten:  $^{158}\text{Eu}$   $45,9 \pm 0,2$  min;  
 $^{159}\text{Eu}$   $18,07 \pm 0,09$  min.

Die auf der Extraktion mit Na-Amalgam beruhende Methode zur schnellen radiochemischen Abtrennung des Europiums aus dem als Targetmaterial benutzten  $^{160}\text{Gd}$  wird beschrieben.

**Summary**

The  $^{158}\text{Eu}$  and  $^{159}\text{Eu}$  decay has been studied with a  $\beta$ -counter and NaI scintillation spectrometer. The analysis of the  $\gamma$ -spectra gave the energies and relative intensities of the  $\gamma$ -peaks of  $^{158}\text{Eu}$  and  $^{159}\text{Eu}$ . With a fast coincidence circuit we measured the  $\gamma$ - $\gamma$ -coincidences of the  $^{158}\text{Eu}$ -peaks  $> 0.9$  MeV. From the decay curves we calculated the following half-lives:

$$^{158}\text{Eu} \quad 45.9 \pm 0.2 \text{ min};$$

$$^{159}\text{Eu} \quad 18.07 \pm 0.09 \text{ min.}$$

The fast europium extraction from the  $^{160}\text{Gd}$  target by sodium amalgam is described.

**Résumé**

Nous avons étudié la désintégration de  $^{158}\text{Eu}$  et de  $^{159}\text{Eu}$  à l'aide d'un compteur  $\beta$  et d'un spectromètre NaI à scintillation. L'analyse des spectres  $\gamma$  a fourni l'énergie et l'intensité relative des raies  $\gamma$  de  $^{158}\text{Eu}$  et de  $^{159}\text{Eu}$ . Un circuit à coïncidence rapide a permis de déterminer les coïncidences  $\gamma$ - $\gamma$  des raies du  $^{158}\text{Eu}$   $> 0,9$  MeV. Les périodes indiquées ci-dessous ont été calculées à partir des courbes de décroissance:

$$^{158}\text{Eu} \quad 45,9 \pm 0,2 \text{ min};$$

$$^{159}\text{Eu} \quad 18,07 \pm 0,09 \text{ min.}$$

On décrit l'extraction rapide, par l'amalgame de sodium, de l'euporium de la cible de  $^{160}\text{Gd}$ .

L. WINSBERG [1] isolierte aus Spaltprodukten ein Europiumisotop mit einer Halbwertszeit von 60 min und einer  $\beta$ -Maximalenergie von 2,65 MeV, dem er die Massenzahl 158 zuordnete. G. T. EWAN und W. G. CROSS [2] erhielten  $^{158}\text{Eu}$  durch Bestrahlung von  $^{158}\text{Gd}$  mit schnellen Neutronen und fanden eine Halbwertszeit von 45 min sowie  $\gamma$ -Linien bei 1160 keV und 940 keV. Die ersten Untersuchungen von  $^{159}\text{Eu}$  gehen auf F. D. S. BUTEMENT [3] zurück, der dieses Nuklid durch Bestrahlung von  $^{160}\text{Gd}$  mit 23 MeV-Bremsstrahlung erzeugte und eine Halbwertszeit von 17 min fand. Nach T. KUROYANAGI und Mitarbeitern [4] beträgt die Halbwertszeit des  $^{159}\text{Eu}$  19 min. Diese Autoren geben außerdem eine  $\beta$ -Maximalenergie von 2,2 MeV und zwei mit schwacher Intensität auftretende  $\gamma$ -Linien bei 45 keV und 170 keV an.

Von beiden Nukliden waren demnach nur wenige Daten über ihren Zerfall bekannt. Dies veranlaßte uns, eine genauere Untersuchung der  $\gamma$ -Spektren von  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  zu beginnen. Außerdem wurden die Halbwertszeiten beider Nuklide und einige  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzen des  $^{158}\text{Eu}$  bestimmt. Anhand der für  $^{158}\text{Eu}$  gefundenen Daten wurde schließlich versucht, unter Berücksichtigung der bekannten Anregungsniveaus von  $^{158}\text{Gd}$  ein vorläufiges Zerfallsschema des  $^{158}\text{Eu}$  aufzustellen.

Im Verlauf unserer Arbeit erhielten wir Kenntnis von einem Vortrag, in welchem W. R. DANIELS und D. C. HOFFMAN [5] über Halbwertszeiten,  $\beta$ -Maximalenergien und  $\gamma$ -Energien von  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  berichten. Die Ergebnisse dieser Autoren werden in der Diskussion dieser Arbeit mit den von uns gefundenen Zerfallsdaten verglichen.

$^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  können entweder durch Spaltung schwerer Kerne oder durch Bestrahlung von Gd-Isotopen mit z. B. schnellen Neutronen oder Deuteronen erhalten werden. Da hierbei stets auch Radionuklide anderer Elemente auftreten, ist es vorteilhaft, die Europiumisotope vor ihrer spektroskopischen Untersuchung aus dem bestrahlten Targetmaterial abzutrennen. Wir haben deshalb ein Verfahren zur schnellen radiochemischen Abtrennung des Europiums ausgearbeitet.

**Chemische Abtrennung**

Zur schnellen radiochemischen Abtrennung des Europiums von den anderen seltenen Erden kann die Tatsache ausgenutzt werden, daß die zweiwertigen Ionen

des Europiums in wäßriger Lösung stabil sind.  $\text{Eu}^{+2}$  besitzt ähnliche chemische Eigenschaften wie  $\text{Sr}^{+2}$  und  $\text{Ba}^{+2}$  und läßt sich daher z. B. durch Fällungsreaktionen von den dreiwertigen seltenen Erden abtrennen.

Zink [6], amalgamiertes Zink (JONES-Reduktor) [7] oder  $\text{CrCl}_2$  [8] reduzieren Europium als einziges Element der seltenen Erden zur zweiwertigen Stufe. Ein weiteres Verfahren zur Reduktion des Europiums besteht in der Extraktion essigsaurer Europiumlösungen mit Natriumamalgam [9]. Hierbei werden aus der Gruppe der seltenen Erden neben Europium vor allem Samarium und Ytterbium, in geringerem Umfang auch die leichten seltenen Erden extrahiert (Tab. 1). Nach der Zersetzung dieser Amalgame mit starker HCl tritt Europium als zweiwertiges Ion in der wäßrigen Phase auf, während die übrigen mitextrahierten seltenen Erden als dreiwertige Ionen vorliegen. Die Verwendung von Natriumamalgam als Reduktionsmittel hat demnach den Vorteil, daß mit der Reduktion gleichzeitig eine Anreicherung des Europiums verbunden ist. Nach unseren Untersuchungen kann die Anreicherung des Europiums besonders gegenüber den leichten seltenen Erden wesentlich erhöht werden, wenn in der Extraktionslösung ein Teil der Essigsäure durch Zitronensäure ersetzt wird (Tab. 1). Außerdem werden bei der Extraktion unter diesen Bedingungen besser reproduzierbare Ausbeuten an Europium erhalten.

Die Abtrennung des gegen Oxydationsmittel sowie Luftsauerstoff instabilen  $\text{Eu}^{+2}$  von den dreiwertigen seltenen Erden kann durch Fällung als  $\text{EuSO}_4$  [6], als  $\text{EuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [9, 10] oder aufgrund der leichten Lös-

1. L. WINSBERG, Radiochemical Studies: The Fission Products, Book 2, herausgegeben von C. D. CORYELL und N. SUGARMAN, McGraw-Hill Book Co., New York (1951).

2. G. T. EWAN and W. G. CROSS, PR-P-56, S. 26, Progress Report, 1. Okt.-31. Dez. 1962.

3. F. D. S. BUTEMENT, Nature **165**, 149 (1950).

4. T. KUROYANAGI, H. YUTA, K. TAKAHASHI, and H. MORINAGA, J. Physic. Soc. Japan **16**, 2393 (1961).

5. W. R. DANIELS and D. C. HOFFMAN, Bull. Amer. Physic. Soc. **8**, 482 (1963).

6. H. N. MCCOY, J. Amer. Chem. Soc. **58**, 2279 (1936).

7. D. C. FOSTER and H. E. KREMERS, Analytic. Chem. **25**, 1925 (1953).

8. P. C. STEVENSON und W. E. NERVIK, NAS-NS 3020, S. 12 (Februar 1961).

9. J. K. MARSH, J. Chem. Soc. (1943), 531.

10. H. N. MCCOY, J. Amer. Chem. Soc. **59**, 1131 (1937).

Tabelle 1. Amalgamausbeuten der seltenen Erden bei der Extraktion mit Natriumamalgam aus essigsaurer Lösung (nach MARSH) und aus zitronensaurer Lösung (eigene Ergebnisse)

Element	La	Ce	Pr	Nd	Yb	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Nach MARSH	25%	24%	15%	11%	80%	90%	93%	0,2%	—	0,5%
eigene Ergebnisse	—	0,5%	—	—	—	50-60%	95%	—	0,1%	—

lichkeit seines Hydroxyds [11] erfolgen. Ebenso ist zur Abtrennung des Eu<sup>+2</sup> seine Mitfällung an Sr- oder Ba-Niederschlägen, z. B. an SrSO<sub>4</sub> [12] oder an BaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O, geeignet. Da zur Mitfällung nur 1 bis 10 mg Europium als Träger erforderlich sind, ist dieses Verfahren der direkten Fällung des Europiums (> 30 mg Europium) vorzuziehen. Die Ausbeute an mitgefälltem Europium ist nahezu unabhängig von der Fällungsform der Erdalkalien und beträgt etwa 70%.

Sind zur Erreichung ausreichender Dekontaminationsfaktoren\* mehrere Trennzyklen erforderlich, so empfiehlt sich die Mitfällung des Eu<sup>+2</sup> an BaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O, da dieser Niederschlag leicht in Lösung gebracht werden kann. Das mitgefällte Europium steht somit rasch zur erneuten Reduktion, die durch die Anwesenheit von Ba<sup>+2</sup>-Ionen auch bei der Amalgamextraktion nicht gestört wird, zur Verfügung.

Die mit einem Trennzyklus, bestehend aus der Reduktion des Europiums und der anschließenden Abtrennung des Eu<sup>+2</sup> durch Mitfällung, erreichbaren Dekontaminationsfaktoren für die dreiwertigen seltenen Erden bei Verwendung von z. B. Zink als Reduktionsmittel betragen etwa 50. Bei der Abtrennung des Eu<sup>+2</sup> nach der Reduktion mit Natriumamalgam liegen

- Die bestrahlte Probe (z. B. 10 mg Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) wird in 4 ml 2 n HCl gelöst, erwärmt und mit einigen Tropfen NH<sub>3</sub> konz. als Hydroxyd ausgefällt.
- Der Hydroxydniederschlag wird über ein Membranfilter abgesaugt und in einem Gemisch aus 10 ml 0,05 m Zitronensäure und 0,1 ml Eisessig gelöst.
- Die Lösung wird in einen mit einem 10 cm langen Steigrohr versehenen 100 ml-Schütteltrichter überführt, 10 mg Europium als Azetat und 10 ml 0,1%iges Natriumamalgam zugegeben. Dann wird 10 sec lang kräftig geschüttelt.
- Die Amalgamphase wird in einem zweiten Schütteltrichter, der 10 ml H<sub>2</sub>O enthält, abgelassen, 1 ml etwa 0,7%iges Bariumamalgam zugegeben und ebenfalls 10 sec lang geschüttelt.
- Das gewaschene Amalgam wird in einen 13 ml HCl konz. und 2 ml H<sub>2</sub>O enthaltenden und mit einem Steigrohr versehenen Schütteltrichter überführt. Der Schütteltrichter wird bis zur Amalgamzugabe mit N<sub>2</sub> durchspült und in einem Eisbad gekühlt. Das HCl-Amalgamgemisch wird 30 sec lang kräftig geschüttelt.
- Das Quecksilber wird abgelassen, der in der HCl-Phase enthaltene Niederschlag an BaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O über ein Hartfilter abgesaugt und mit 5 ml Alkoholather (1:1) gewaschen.
- Soll die Trennung wiederholt werden, so wird der Niederschlag an BaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O in einem Gemisch aus 10 ml 0,05 m Zitronensäure und 0,1 ml Eisessig gelöst. Anschließend werden die Schritte c) bis f) wiederholt.

Tabelle 2. Ergebnisse der Untersuchungen zur Abtrennung des Europiums von den übrigen seltenen Erden

Reduktionsmittel	Trennmethode	Trennfaktoren für die dreiwertigen seltenen Erden	Zeitbedarf	Ausbeute an Europium
JONES-Reduktor	Fällung als EuSO <sub>4</sub>	40	25 min	80%
	Mitfällung an SrSO <sub>4</sub>	30-40	25 min	70%
Zn-Staub	Fällung als EuCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	40	5 min	70-80%
	Mitfällung an BaCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	50	5 min	60-70%
Natriumamalgam	Mitfällung an BaCl <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	60 (Sm) 5 · 10 <sup>3</sup> (Ce) 10 <sup>4</sup> (Tb)	2-3 min	65-75%

die Dekontaminationsfaktoren wesentlich höher (10<sup>3</sup> bis 10<sup>4</sup>). Ausgenommen hiervon ist nur Samarium, dessen Amalgamausbeute 50 bis 60% beträgt. Ähnliche Ausbeuten sind auch für Ytterbium zu erwarten. Somit sind zur Erzielung hoher Dekontaminationsfaktoren für Samarium mehrere Trennzyklen erforderlich.

Die mit den verschiedenen Trennmethoden erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, bietet das Amalgamverfahren gegenüber den anderen Trennmethoden auch zeitliche Vorteile. Wir haben deshalb zur Abtrennung der Europiumisotope aus den bestrahlten Targets das Amalgamextraktionsverfahren angewandt. Im folgenden wird die experimentelle Durchführung der Europiumabtrennung näher beschrieben.

### Zerfallsdaten von <sup>158</sup>Eu und <sup>159</sup>Eu

#### 1. Experimentelles

Zur Herstellung von <sup>158</sup>Eu und <sup>159</sup>Eu benutzten wir folgende Kernreaktionen:

\* Der Dekontaminationsfaktor DK ist in dieser Arbeit definiert als

$$DK = \frac{(A_g/A_f)_n}{(A_g/A_f)_v}$$

(A<sub>g</sub>/A<sub>f</sub>)<sub>n</sub> bzw. (A<sub>g</sub>/A<sub>f</sub>)<sub>v</sub> bedeutet das Aktivitätsverhältnis von erwünschtem Nuklid (A<sub>g</sub>) zur Summe der Fremdnuklide (A<sub>f</sub>) vor bzw. nach der Trennung.

11. P. C. STEVENSON und W. E. NERVIK, NAS-NS 3020, S. 226 (Februar 1961).

12. W. FRESSENIUS und G. JANDER, Handbuch der analyt. Chemie, 3. Teil, Band IIIb, S. 392 (1956).

a)  $^{160}\text{Gd}$  ( $d_{15}, \alpha$ )  $^{158}\text{Eu}$  und

b)  $^{160}\text{Gd}$  ( $n, pn$ )  $^{159}\text{Eu}$ .

Als Targetmaterial wurde auf 98,7% angereichertes  $^{160}\text{Gd}_2\text{O}_3$ \* verwendet. Die Durchführung der Bestrahlungen erfolgte am Zyklotron des KFZ Karlsruhe. Als Deuteronen-Neutronen-Konverter wurde Graphit benutzt. Die Europiumaktivitäten wurden nach dem oben beschriebenen Trennungsgang aus den bestrahlten Targets isoliert. Der zeitliche Abfall der Europiumpräparate wurde mit einem Methandurchflußzähler gemessen. Wie aus den  $\beta$ -Abfallkurven (Abb. 1 und 2) hervorgeht, wurden im Falle der Kernreaktion a) neben  $^{158}\text{Eu}$  nur geringe Mengen an  $^{157}\text{Eu}$  gebildet.

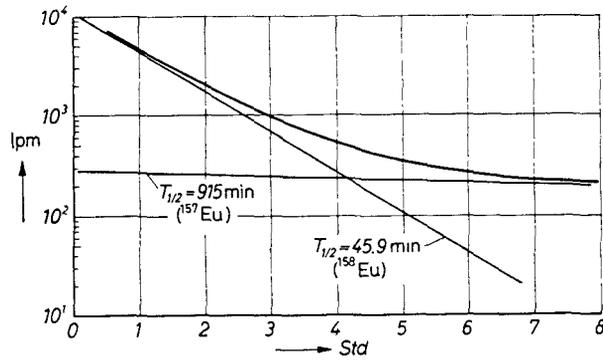


Abb. 1.  $\beta$ -Abfallkurve von  $^{158}\text{Eu}$

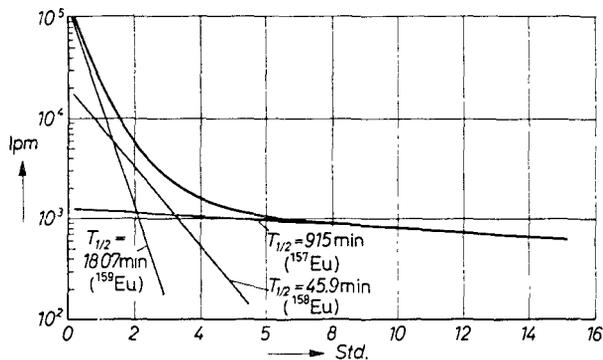


Abb. 2.  $\beta$ -Abfallkurve von  $^{159}\text{Eu}$

Die Kernreaktion b) führte unabhängig von der gewählten Deuteronenenergie (zwischen 25 und 40 MeV) stets zu einem Gemisch aus  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$ . Zur Bestimmung der Halbwertszeiten der beiden Nuklide wurden die gemessenen  $\beta$ -Abfallkurven mit einem Rechenautomaten Typ IBM 7070 unter Verwendung des Rechenprogramms „RADAR“ [13] analysiert.

Die Aufnahme der  $\gamma$ -Spektren erfolgte mit einem 1024-Kanalspektrometer und einem  $2 \times 2''$ -NaJ(Tl)-Kristall (Integral-line-Anordnung). Die Messungen wurden in einer mit Plexiglas, Kupfer und Kadmium ausgekleideten Bleikammer [14] durchgeführt (Abstand der Kammerinnenwänden 35 cm). Die Meßpräparate wurden zur Absorption der  $\beta$ -Strahlung mit Kohlenstoffplatten (Flächenbelegung  $1,35 \text{ g/cm}^2$ ) abgedeckt. Die Energieeichung des Spektrometers sowie die Bestimmung des Energieauflösungsvermögens und

des Peak-to-Total-Verhältnisses der Meßanordnung als Funktion der  $\gamma$ -Energie wurden in der üblichen Weise durchgeführt. Zur Analyse der erhaltenen  $\gamma$ -Spektren wurde die Subtraktionsmethode [15] angewandt.

Die Bestimmung der Peaklage und im Falle komplexer Photolinien auch der Peakhöhen erfolgte nach dem Verfahren der logarithmischen Differentiation [16]. Die zu den gefundenen  $\gamma$ -Energien gehörigen Comptonverteilungen wurden nach der Interpolationsmethode von MAEDER [17] konstruiert. Die Intensitäten der  $\gamma$ -Linien wurden aus den Peakflächen ermittelt. Zur Analyse des  $\gamma$ -Spektrums von  $^{159}\text{Eu}$  wurde aus dem gemessenen Spektrum zunächst der Anteil des  $^{158}\text{Eu}$  subtrahiert.

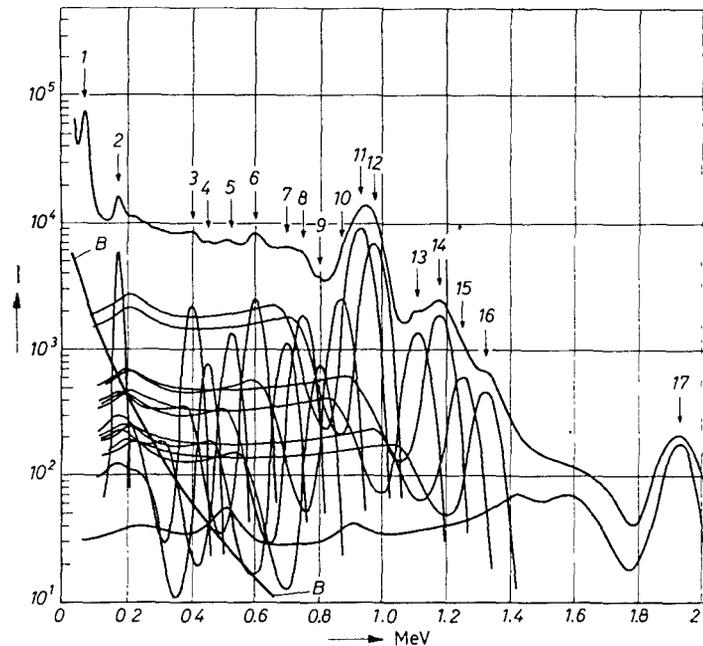


Abb. 3.  $\gamma$ -Spektrum von  $^{158}\text{Eu}$  und die Impulshöhenverteilungen der bei der  $\gamma$ -Analyse gefundenen  $\gamma$ -Energien (mit Nummern bezeichnet). Die mit B bezeichnete Kurve stellt den Verlauf der berechneten Bremsstrahlverteilung dar

Die Analyse von  $\gamma$ -Spektren kann besonders im niederenergetischen Bereich durch Bremsstrahlkontinua gestört werden. Zur Korrektur dieses Effekts wurden deshalb die zu erwartenden Bremsstrahlverteilungen für  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  unter Zugrundelegung der von W. R. DANIELS und D. C. HOFFMAN angegebenen  $\beta$ -Maximalenergien dieser beiden Nuklide mit Hilfe einer IBM 7070 berechnet [18] und aus den beiden  $\gamma$ -Spektren subtrahiert.

\* Bezogen von der Fa. Union Carbide Corporation, Nuclear Division, Oak Ridge, Tennessee, USA.

13. H. MÜNDEL, Veröffentlichung in Vorbereitung
14. R. L. HEATH, JDO-16408 (1957).
15. N. R. LAZAR, JRE Transactions on Nuclear Science, NS-5, 138 (1958).
16. L. G. PREUSS and J. P. ESCARFALL, Nucl. Instr. Methods **9**, 212 (1960).
17. D. MAEDER, A. H. WAFSTRA, G. J. NIJGH, and L. TH. M. ORNSTEIN, Physica **20**, 521 (1954).
18. H. MÜNDEL, and E. GANTNER, Veröffentlichung in Vorbereitung.

Die zur Analyse benutzten  $\gamma$ -Spektren, die zu den gefundenen  $\gamma$ -Energien gehörigen Impulshöhenverteilungen sowie die berechneten Bremsstrahlkontinua sind in den Abb. 3 und 4 dargestellt.

Das  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzspektrum des  $^{158}\text{Eu}$  wurde unter Verwendung einer Schnell-Langsam-Koinzidenz (zeitliches Auflösungsvermögen 20 n sec) und einer  $32 \times 32$ -Matrix aufgenommen. Wegen der Vielzahl der  $\gamma$ -Linien war eine sichere Zuordnung der Koinzidenzen nur im Energiebereich oberhalb 900 keV möglich.

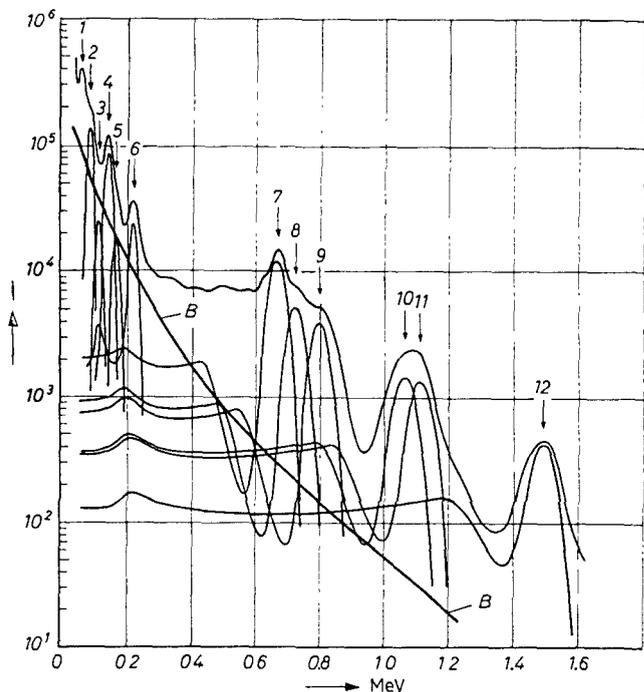


Abb. 4.  $\gamma$ -Spektrum von  $^{159}\text{Eu}$  und die Impulshöhenverteilungen der bei der  $\gamma$ -Analyse gefundenen  $\gamma$ -Energien (nummeriert). Die mit B bezeichnete Kurve stellt den Verlauf der berechneten Bremsstrahlverteilung dar

## 2. Ergebnisse und Diskussion

In den Tab. 3 und 4 sind die von uns gefundenen Zerfallsdaten von  $^{158}\text{Eu}$  und  $^{159}\text{Eu}$  zusammengestellt. Die Übereinstimmung mit den bereits in der Literatur bekannten Werten (Tab. 3 und 4) ist für beide Nuklide gut. Über die Genauigkeit der von uns bestimmten  $\gamma$ -Energien und  $\gamma$ -Intensitäten können aufgrund unserer Erfahrungen folgende Aussagen gemacht werden: Der mögliche Fehler in der Energiebestimmung liegt für die  $\gamma$ -Linien oberhalb 150 keV unter 1%, für niedrigere Energien bei 1 bis 2%. Der mögliche Fehler in der Intensitätsbestimmung sollte für  $\gamma$ -Energien mit einer relativen Intensität unter 10 nicht größer als 50% sein. Für die  $\gamma$ -Linien mit einer relativen Häufigkeit oberhalb 30 kann ein Fehler unter 20% angenommen werden.

Ein Zerfallsschema des  $^{158}\text{Eu}$  ist bisher nicht veröffentlicht worden. Sowohl J. W. KNOWLES und Mitarbeiter [19] als auch L. V. GROSHEV und Mitarbeiter [20] geben jedoch ein Niveauschema für  $^{158}\text{Gd}$  an (Abb. 5). Unsere Ergebnisse können in befriedigender Weise nur in das von J. W. KNOWLES vorgeschlagene Schema

Tabelle 3. Zusammenstellung der Zerfallsdaten von  $^{158}\text{Eu}$

Nr. in Abb. 3	Ref. [2] MeV	Ref. [5] MeV	diese Arbeit		koinz. mit Nr.
			MeV	Intensität	
$\gamma_1$	—	0,080	0,080	intensiv	
$\gamma_2$	—	0,180	0,176	4	
$\gamma_3$	—	—	0,403	6	
$\gamma_4$	—	—	0,453	2	
$\gamma_5$	—	0,525	0,522	6	
$\gamma_6$	—	0,605	0,605	13	
$\gamma_7$	—	—	0,701	8	
$\gamma_8$	—	—	0,755	14	
$\gamma_9$	—	—	0,807	6	
$\gamma_{10}$	—	—	0,870	24	
$\gamma_{11}$	0,94	0,945	0,932	100	$\gamma_{16}, \gamma_{12}$
"		(kompl.)			
$\gamma_{12}$	—	—	0,975	78	$\gamma_{16}$
$\gamma_{13}$	—	1,11	1,113	19	$\gamma_{15}$
$\gamma_{14}$	1,16	1,18	1,182	28	$\gamma_{15}$
$\gamma_{15}$	—	—	1,255	10	$\gamma_{13}$ oder $\gamma_{14}$
$\gamma_{16}$	—	—	1,326	9	$\gamma_{11}$
$\gamma_{17}$	—	1,93	1,937	5	
$Q_\beta$		$3,3 \pm 0,3$			
$E_{\beta_{\max}}$		$2,3 \pm 0,2$			
		$1,5 \pm 0,2$			
Halbwertszeit					
in min	45	$45,7 \pm 1$	$45,9 \pm 0,2$		

Tabelle 4. Zusammenstellung der Zerfallsdaten von  $^{159}\text{Eu}$

Nr. in Abb. 4	Ref. [4] MeV	Ref. [5] MeV	diese Arbeit	
			MeV	Intensität
$\gamma$	0,045	—	0,04–0,05	intensiv
$\gamma_1$	—	0,070	0,067	200
$\gamma_2$	—	0,100	0,092	90
$\gamma_3$	—	0,120	0,117	18
$\gamma_4$	—	0,148	0,147	68
$\gamma_5$	0,170	0,175	0,171	16
$\gamma_6$	—	0,225	0,220	26
$\gamma_7$	—	—	0,670	100
$\gamma_8$	—	—	0,730	50
$\gamma_9$	—	—	0,802	44
$\gamma_{10}$	—	—	1,064	26
$\gamma_{11}$	—	—	1,113	26
$\gamma_{12}$	—	—	1,495	12
$Q_\beta$		$2,3 \pm 0,2$		
$E_{\beta_{\max}}$	2,2	$2,2 \pm 0,2$		
Halbwertszeit				
in min	$19 \pm 1$	$17,6 \pm 1$	$18,07 \pm 0,09$	

eingeorordnet werden (Abb. 5), Abweichungen der von uns vorgeschlagenen Niveaus bei 0,88 MeV und 1,99 MeV können auf die Fehler in der Energiebestimmung der von uns angegebenen  $\gamma$ -Linien zurückgeführt werden. Die Niveaus bei 0,539 MeV, 1,485 MeV und 2,250 MeV werden nach dem vorgeschlagenen

19. J. W. KNOWLES, G. MANNING, G. A. BARTHOLOMEW, and P. J. CAMPION, Proceedings of the International Conference on Nuclear Structure, Kingston (1960).

20. L. V. GROSHEV, A. M. DEMIDOV, V. A. IVANOV, V. N. LUTSENKO und L. J. PELEKHOV, Bull. Acad. Sci. USSR, Physic. Ser. **26**, 1127 (1962).

Schema beim Zerfall des <sup>158</sup>Eu nicht berührt. Zur Einordnung der Linien mußte dagegen ein zusätzliches Niveau bei 1,580 MeV angenommen werden. Die schwach intensive Linie der Energie 0,453 MeV konnte in dem Schema nicht untergebracht werden und wurde deshalb nicht eingezeichnet. Nach J. W. KNOWLES tritt ein  $\gamma$ -Übergang der Energie 0,99 MeV zwischen

den Niveaus bei 1,257 MeV und 0,262 MeV auf. Diese Linie wurde bei der  $\gamma$ -Analyse nicht gefunden. Es ist jedoch möglich, daß sie im  $\gamma$ -Spektrum des <sup>158</sup>Eu enthalten ist und durch die benachbarte stark intensive Linie bei 0,975 MeV verdeckt wurde. Dieser Übergang wurde daher gestrichelt eingezeichnet.

Die in dem vorgeschlagenen Zerfallsschema für das <sup>158</sup>Eu auftretenden  $\beta$ -Übergänge lassen sich im wesentlichen zu drei Gruppen zusammenfassen. Die in Tab. 5 angegebenen  $\beta$ -Maximalenergien dieser drei Gruppen wurden unter Berücksichtigung des Literaturwertes [5] für  $Q_\beta$  erhalten. Die den Gruppen 1 und 2 entsprechenden  $\beta$ -Maximalenergien stimmen mit den Ergebnissen von W. R. DANIELS und D. C. HOFFMAN überein. Eine weitere Bestätigung des vorgeschlagenen Zerfallsschemas konnte durch einen Vergleich der  $\beta$ -Intensität (berechnet aus der Intensität der Bremsstrahlverteilung) mit der Intensität der 0,932 MeV- $\gamma$ -Linie erhalten werden. Die so gefundene relative Häufigkeit dieser Linien stimmt mit dem aus dem Schema sich ergebenden Wert von etwa 60  $\gamma$ -Quanten pro 100  $\beta$ -Zerfälle überein.

Die bisher bekannten Zerfallsdaten für <sup>159</sup>Eu reichen nicht aus, um ein Zerfallsschema für dieses Nuklid vorzuschlagen. Es läßt sich jedoch unter Berücksichtigung der aus der Bremsstrahlverteilung errechneten  $\beta$ -Intensität des Meßpräparates zeigen, daß mehr als 80% der  $\beta$ -Zerfälle des <sup>159</sup>Eu direkt zum Grundzustand des <sup>159</sup>Gd führen. Der  $Q_\beta$ -Wert für den Zerfall des <sup>159</sup>Eu sollte deshalb gleich der  $\beta$ -Maximalenergie von 2,2 MeV [4, 5] sein.

Wir danken Herrn Prof. Dr. W. SEELMANN-EGGEBERT für die stetige Unterstützung dieser Arbeit. Der Betriebsgruppe am Zyklotron des KFZ Karlsruhe danken wir für die Durchführung der Bestrahlungen.

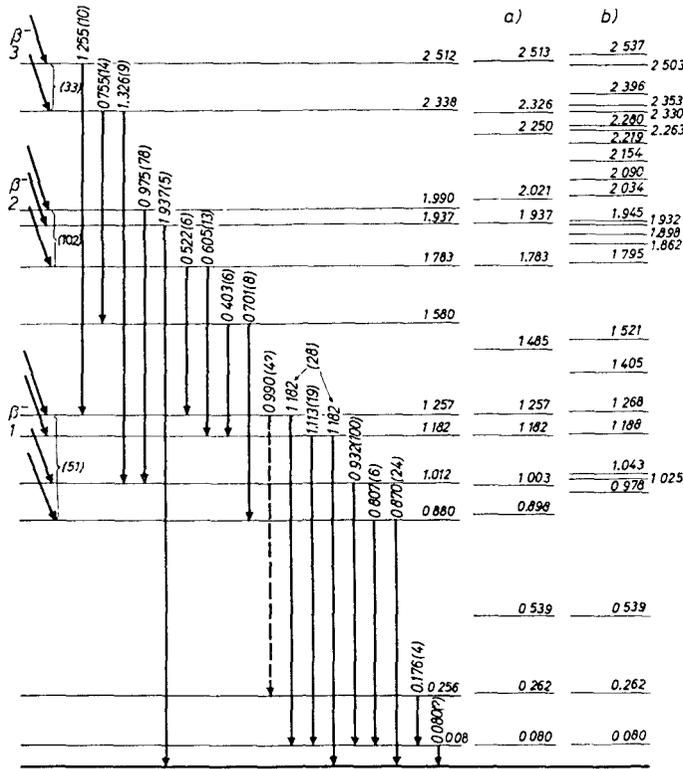


Abb. 5. Vorgeschlagenes Zerfallsschema für <sup>158</sup>Eu. In der rechten Bildhälfte sind die von KNOWLES (a) sowie von GROSHEV (b) gefundenen Niveaus des <sup>158</sup>Gd eingetragen