



KfK 2871  
September 1979

**Bestimmung von Uran in  
Mineralen durch  
zerstörungsfreie  
Neutronenaktivierungsanalyse  
über U-239**

H. Ruf, R. Shabana  
Institut für Radiochemie

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Radiochemie

KfK 2871

BESTIMMUNG VON URAN IN MINERALEN DURCH ZERSTÖRUNGSFREIE  
NEUTRONENAKTIVIERUNGSANALYSE ÜBER U-239

H. Ruf und R. Shabana

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Bei Bestrahlung mit epithermischen Neutronen am FR-2 und am Zyklotron von nur wenigen Minuten Dauer wurde Uran in teilweise Thorium enthaltenden Mineralen ohne chemische Behandlung der Proben durch Messung der U-239-Aktivität bestimmt. Der Einfluß von Effekten der Neutronenselbstabschirmung sowie der Eigenabsorption der schwachenergetischen U-239-Gammastrahlung ist untersucht worden. Bedingungen für einfach durchzuführende, rasche Uranbestimmungen mit befriedigender Genauigkeit werden genannt.

## DETERMINATION OF URANIUM IN MINERALS BY INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS VIA U-239

### Abstract

Uranium in partially thorium containing minerals has been determined by measuring U-239 activity without any chemical treatment of the samples after irradiation of the latter with epithermal neutrons at the FR-2 reactor as well as at the cyclotron for only few minutes. Influences of neutron selfshielding and selfabsorption effects of energetically poor U-239 gamma radiation were examined. Conditions for simple uranium determinations with results of satisfactory precision are given.

BESTIMMUNG VON URAN IN MINERALEN DURCH ZERSTÖRUNGSFREIE  
NEUTRONENAKTIVIERUNGSANALYSE ÜBER U-239

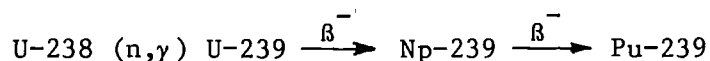
H. Ruf und R. Shabana \*)

Einführung

Die n, $\gamma$ -Aktivierung des U-238 wird infolge hoher Resonanzen, die dieses Nuklid aufweist, bei Bestrahlung im Kernreaktor im Gegensatz zur Aktivierung zahlreicher anderer Elemente vorwiegend durch epithermische Neutronen bewirkt. Damit erklärt sich die der aktivierungsanalytischen Uranbestimmung zukommende außerordentliche Selektivität, wenn thermische Neutronen z.B. mittels Kadmiumfolie vom Neutronenfluß ausgefiltert werden. Eine auf dieser Feststellung basierende analytische Methode zur Uranbestimmung wurde von Turkowsky, Stärk und Born zum ersten Mal angewandt (1) (2) und von Steinnes, Brune sowie Brunfelt zur zerstörungsfreien Uranbestimmung in Gesteinen modifiziert (3,4). Von den nach

---

\*) Ständige Adresse: Nuclear Chemistry Department, Atomic Energy Establishment, Cairo, Egypt.



gebildeten bzw. zerfallenden Aktivierungsprodukten, dem primär entstehenden U-239, sowie dessen Tochteraktivität Np-239 lassen sich zur Messung grundsätzlich beide heranziehen. Für die Wahl des Np-239 sprechen vor allem die sich aus seiner größeren Halbwertszeit (2,355 d) sowie seinen nicht geringen Gamma-Energien ergebenden Vorteile. Unter Ausnutzung dessen sind denn auch bislang in unserem Laboratorium über das Np-239 routinemäßig Uranbestimmungen, insbesondere in mineralischen Proben, wo in der Regel viele Begleitelemente mitvorkommen und ohne Kadmiumabschirmung erhebliche Störaktivitäten verursachen würden, durchgeführt worden (5). Die Messung des verhältnismäßig kurzlebigen U-239 ( $T_{1/2} = 23,5$  Min.) zogen wir dagegen bisher nicht in Betracht. Dies lag nicht zuletzt am spärlichen Nutzvolumen der in der FR-2-Rohrpost zugelassenen Kadmiumkapseln, in denen sich lediglich drei, allenfalls vier Quarzampullen mit nur bescheidenen Ausdehnungen zur Aufnahme des Probenmaterials unterbringen lassen. Aber auch die geringe Photonenenergie von 74,67 keV, welche der einzigen prominenten Gamma-Linie des Nuklids eigen ist (6) und bei der Erfassung der Aktivität erhöhte Fehlerrisiken infolge Selbstabsorptionseffekte mit sich bringt, war ein Grund für die Zurückstellung der U-239-Messung.

Neben diesen Gegebenheiten läßt sich indes nicht übersehen, daß auch die Messung des U-239 Vorzüge bietet. Liegt es doch an der kurzen Halbwertszeit dieser Spezies, daß hierbei zur Erzielung nämlicher Empfindlichkeiten im Vergleich zur Neptunium-Messung ungleich kürzere Bestrahlungszeiten vonnöten sind. Mit der Intensität der 75 keV-Linie, die mit 59,3 % Übergangswahrscheinlichkeit nicht unerheblich über allen  $\gamma$ -Intensitäten des Np-239 liegt (s. Tab. 1), ist sogar eine höhere Nachweisempfindlichkeit des Urans gegeben, so daß zumal in Fällen, in denen rasche Analysenergebnisse an einer kleinen Probenzahl gefordert sind, die nur kurze Bestrahlungszeiten verlangende Methode attraktiv erscheint.

Interesse an der U-239-Messung weckten desweiteren unsere im Hinblick auf die vorgesehene Stilllegung des FR-2 zu tätigen Sondierungen bezüglich Neutronenbestrahlungsmöglichkeiten u.a. am Zyklotron bei erträglichen, von der Bestrahlungszeit abhängigen Kosten. Wenn auch der am Zyklotron verfügbare Neutronenfluß kleiner ist als am FR-2, so entfallen hier wegen der Zulassung geräumigerer Kadmiumkapseln immerhin die an der FR-2-Rohrpost geltenden hinderlichen Platzbeschränkungen.

Diese Überlegungen gaben Veranlassung, Uranbestimmungen der erwähnten Art durch Messung des U-239 durchzuführen. Da diese Arbeiten gerade in Bezug auf die Uranprospektion besondere Bedeutung haben, boten sich standardi-

sierte Mineralproben (IAEA-, NBL- und ASK-Standards) mit ihre Urangehalte ausweisenden, allenthalben anerkannten Zertifikaten als die für den genannten Zweck geeignetsten Untersuchungsmaterialien an.

## Experimentelles

### Vorbereitung der Proben und Bestrahlung

Nach Trocknen des in fein pulverisierter Form vorliegenden Minerals bei 120°C werden 30-90 mg Probenmaterial eingesetzt. Bei Bestrahlungen am FR-2 dienen als Verpackungsgefäße Quarzampullen, bei Zyklotronbestrahlungen Kapseln aus Polyäthylen. Charakteristische Daten dieser Behältnisse sowie solche der in der Rohrpost verwendeten Kadmiumkapseln sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Der Fluß epithermischer Neutronen betrug am FR-2 etwa  $1,5 \cdot 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Am Zyklotron stand zur Neutronenerzeugung ein einer Deuteronenbestrahlung ausgesetztes Beryllium-Target zur Verfügung, wobei sich bei einem Strahlstrom von 13  $\mu\text{A}$  Deuteronen ein Neutronenfluß von  $(5-6) \cdot 10^{10} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ergab. Der epithermische Fluß hier berechnete sich aus den Meßdaten bestrahlten Urans bekannter Menge zu  $\phi_{\text{epth.}} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Die Bestrahlungszeiten betragen am FR-2 5 Minuten, am Zyklotron 10 Minuten.

### Messung der Aktivität

Die Messungen wurden an einem Ge(Li)-Detektor getätigt, dessen Halbwertsbreite bei 70 keV ca. 1 keV beträgt. Seine Nachweiswahrscheinlichkeit wird mit 15,8 % angegeben. Mit dem Detektor in Verbindung befand sich ein 4000-Kanal-Analysator. Je nach herrschender Intensität betrug die Meßzeit 100-300 s. Zwischen Bestrahlungsende und Messung verstrich eine Zeit von mindestens 12 Minuten, so daß der größte Teil der bei der Bestrahlung im Quarz mitentstandenen Al-28-Aktivität noch vor der Messung abklingen konnte.

## Ergebnisse und Diskussion

### Fehlerquellen und Störmöglichkeiten

Fehlermöglichkeiten bei der Durchführung der Analyse sind vor allem infolge Effekte der Flußdepression und der Selbstabsorption der zu messenden schwach-



energetischen Gammastrahlung gegeben. Ferner ist auf Störwirkungen durch Fremdaktivitäten zu achten.

#### Flußdepression:

Aufgrund des hohen Resonanzintegrals des Urans von 267 barn (7) muß je nach dem Urangehalt mit mehr oder weniger starken Neutronenabschirmungen für innere Bereiche der Bestrahlungsproben gerechnet werden (4), welche zu inhomogenen Aktivierungen und somit zu falschen Ergebnissen führen. Bestrahlungen ungefähr gleicher Mengen von Mineralen verschiedener Urangehalte ließen das Ausmaß dieses Phänomens abschätzen. Tabelle 3 zeigt die an einer solchen Serie nach der Bestrahlung am FR-2 gemessenen spezifischen Aktivitäten. Tabelle 4 gibt die spezifischen Aktivitäten einer derartigen Probenserie wieder, die am Zyklotron bestrahlt wurde. Daß mit abnehmender Urankonzentration die induzierte spezifische Aktivität erheblich anwächst, wie beide Tabellen erkennen lassen, bestätigen ferner Messungen an verschiedenen bestrahlten Proben, in denen ein bestimmtes Mineral mit reinem Quarz zunehmend "verdünnt" worden ist (Tab. 5).

Wenngleich in viel geringerem Maße, so bewirkt auch Thorium, welches in Uranmineralen nicht selten mit vertreten ist und ein Resonanzintegral von 88 (+ 3) barn hat (8), lokale Schwächungen des Neutronenflusses und somit eine Verringerung der entstehenden spezifischen Uranaktivität. Dies konnte durch unterschiedlich starke Dotierungen eines Uranminerals mit Thoriumoxid und anschließende Bestrahlung sichergestellt werden (Tab. 6).

Entsprechend den genannten Beobachtungen führen folglich bei ein und demselben Mineral größere Einwaagen im Vergleich zu kleineren zu niedrigeren spezifischen Aktivitäten. Wesentlich deutlicher kommt dieser Effekt zum Ausdruck bei Mineralen mit höherem, z.B. 4-prozentigem Urangehalt (Tab. 7) als bei solchen, die signifikant weniger, z.B. nur 0,002 % Uran enthalten (Tab. 8).

#### Selbstabsorption schwachenergetischer Gammastrahlung:

Bei der Messung niederenergetischer Gammastrahlung ist grundsätzlich auf den Einfluß der Selbstabsorption zu achten. Ob dieser trotz der schon infolge der Flußdepressionswirkung erforderlichen Einschränkung der Material-einwaagen eine Rolle spielt, läßt sich durch Messungen bei Vorlegen von Absorbern unterschiedlicher Dicken, die sich zwischen Meßpräparat und

Detektor befinden, feststellen. Zur Vereinfachung des Experiments bot sich die Messung einer Aktivität langer Halbwertszeit an, wozu sich Am-241 mit seiner Gammastrahlung vergleichbarer Energie ( $E_{\gamma}$ : 60 keV) eignet. Als Absorber verwendeten wir Aluminiumscheiben verschiedener Stärken ( $\text{mg Al/cm}^2$ ). Dabei hat sich gezeigt, daß eine merkliche Schwächung der gemessenen Gammaaktivität bei 60 keV erst oberhalb  $100 \text{ mg Al/cm}^2$  eintritt. Mit weiterer Zunahme der Absorberstärke nimmt die gemessene Aktivität nur langsam ab, so daß die Mineraleinwaagen, die wegen der Flußdepression ohnehin einigermaßen konstant sein müssen und nicht zu groß sein dürfen, in Bezug auf die Selbstabsorption der energetisch sogar etwas günstigeren U-239-Strahlung nicht kritisch sind. Die geometrische Form des mit dem Bestrahlungsgut identischen Meßguts bleibt mit den verwendeten einheitlichen, dünnwandigen Quarzampullen oder Polyäthylen-Kapseln stets gleich.

#### Störung durch Fremdaktivitäten

Mit der Entstehung von Störaktivitäten ist bei der Bestrahlung unter Kadmiumabschirmung nur infolge von Kernreaktionen mit schnellen und epithermischen Neutronen zu rechnen. Besonders ins Gewicht fallen kann hierbei die Aktivierung des in den Proben und vor allem im Umhüllungsmaterial Quarz enthaltenen Siliziums, wo durch n,p-Reaktionen in erster Linie Al-28 ( $T_{1/2} = 2,24 \text{ Min.}$ ), in geringerem Maße auch Al-29 ( $T_{1/2} = 6,6 \text{ Min.}$ ) und durch n, $\alpha$ -Reaktion noch Mg-27 ( $T_{1/2} = 9,46 \text{ Min.}$ ) gebildet werden. - Der Einsatz von Kapseln aus praktisch nicht aktivierbarem Material wie Polyäthylen oder Polypropylen zusammen mit der Kadmiumabschirmung scheidet am FR-2 wegen der durch den starken Neutronenabsorber bedingten hohen Wärmeentwicklung und des dadurch mit Gewißheit zu erwartenden Schmelzens des Kunststoffes aus. - Die Praxis zeigte jedoch, daß die auf die genannten Fremdaktivitäten zurückzuführende Störmöglichkeit bei dem kleinen Gewicht (ca. 200 mg) der in Kadmium-Kapseln der FR-2-Rohrpostanlage verwendbaren Quarzampullen unbedeutend ist. Die Ermittlung der Halbwertszeit der in solcher Art Quarzampullen gemessenen U-239-Aktivität (23,4 Min.) erbrachte bei Berücksichtigung der begrenzten Genauigkeit der Methode Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert (23,5 Min.) (9). Hingegen sind die Störeffekte bei Quarzampullen mit erheblich größerem Gewicht (ca. 1 g), wie wir sie bei Bestrahlungen am

Zyklotron wegen der dort herrschenden großzügigeren Platzverhältnisse zunächst benutzen wollten, stark ausgeprägt. Die Verwendung indifferenten Verpackungsmaterials wie Polyäthylens u.ä. anstelle von Quarz ist dort deshalb geboten, wegen der vorhandenen geringen thermischen Belastung aber auch unproblematisch.

Durch Aktivierung mit epithermischen Neutronen entsteht bei Anwesenheit von Thorium Th-233. Seine mit nur 1,6 % Häufigkeit kräftigste Gamma-Linie bei 86 keV Energie stört die Uran-Messung am Ge(Li)-Detektor nicht. Eine bei 74,70 keV zwar ebenfalls existierende sehr schwache Gamma-Linie hat eine Häufigkeit von nicht mehr als 0,03 %. Da zudem das Resonanzintegral des Thoriums rund dreimal kleiner ist als das des Urans, bringt bei 75 keV erst eine gegenüber Uran etwa 6000-fache Thoriummenge die gleiche Gamma-Aktivität wie Uran. In Fällen relevanterer Thoriumgehalte der auf Uran zu untersuchenden Minerale läßt sich die vom Thorium beigetragene Aktivität über die aus der Literatur zu entnehmenden Gammaintensitätsverhältnisse berechnen und die Resultate der Uranmessungen korrigieren, wenn bei der Messung getrennt auch der 86 keV-Peak des Thoriums erfaßt wird. Ein Abwarten des Abklingens einer der Aktivitäten ermöglicht wegen der nahezu gleichen Halbwertszeiten der beiden Nuklide eine Unterscheidung zwischen Uran und Thorium nicht ( $T_{1/2}$  von Th-233 = 22,3 Min.). In Fig. 1 ist das Gamma-Spektrum von bestrahltem Uran allein, in Fig. 2 das von bestrahltem Uran und Thorium dargestellt. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß selbst bei Vorliegen einer im Vergleich zum Uran ca. 800-fachen Thoriummenge die zu den beiden Nukliden gehörenden Peaks gut voneinander getrennt erscheinen.

#### Anwendung der Methode auf die Untersuchung verschiedener Minerale

Die der beschriebenen Uranbestimmungsmethode anhaftenden, dargelegten wichtigsten Störmöglichkeiten verlangen auf zwei der zu treffenden Vorkehrungen besonderes Augenmerk: Sorge für in etwa einheitliche und nicht zu große Substanzeinwaagen bei Standard- und Analysenproben, sowie Anpassung des Standards an das zu analysierende Material hinsichtlich des Urangehalts, bei Gegenwart großer Thoriummengen auch des Thoriumgehalts. Ist vor allem ersterer im Probenmaterial gänzlich unbekannt, wird eine Orientierungsanalyse unumgänglich sein.

Unter Berücksichtigung dieser Erfordernisse bestimmten wir die Urangehalte in verschiedenen, z.T. auch Thorium enthaltenden Mineralen, wobei

die Einwaagen auf maximal 90 mg beschränkt blieben. Hierbei gefundene Resultate sind in Tabelle 9 wiedergegeben. Die ermittelten Urangehalte befinden sich in Anbetracht des für die Analysendurchführung zu betreibenden relativ geringen Aufwandes in zufriedenstellender Übereinstimmung mit den in den Zertifikaten notierten Werten. Aus den der Tabelle 9 ebenfalls zu entnehmenden Abweichungen der Einzelresultate von den vorgegebenen Werten berechnet sich die mittlere Standardabweichung zu  $\sigma = \pm 6,90 \%$ , einer Streuung, die innerhalb der bei Aktivierungsanalysen durchaus zu erwartenden Fehlerbreite liegt.

Mit dem am Zyklotron herrschenden epithermischen Neutronenfluß war nach 10-minütiger Bestrahlungszeit in 5 cm Abstand zum Detektor eine spezifische Aktivität von ca. 13 000 Impulsen pro 5 Minuten und 100 µg Uran für den Zeitpunkt des Bestrahlungsendes zu erzielen. Die am FR-2 erreichbare Empfindlichkeit ist gemäß dem angegebenen dort herrschenden epithermischen Fluß entsprechend höher.

#### Literatur

- 1) C. Turkowsky, H. Stärk; Z. Anal. Chem. 221, 205 (1966)
- 2) C. Turkowsky, H. Stärk, H.J. Born; Radiochim. Acta 8, 27 (1967)
- 3) E. Steinnes, D. Brune; Talanta 16, (9) 1326-29 (1969)
- 4) A.O. Brunfelt, E. Steinnes; Anal. Chim. Acta 48, 13-24 (1969)
- 5) E. Mainka, H. Ruf, W. Coerdt, M. Friedrich, W. König; KFK-2458, Mai 1977
- 6) G. Erdtmann, W. Soyka; Jül-1003-Ac (1973)
- 7) E. Steinnes; Anal. Chim. Acta 48, 13 (1969)
- 8) E. Steinnes; J. Inorg. Nucl. Chem. 34, 2699-703 (1972)
- 9) W. Seelmann-Eggebert, G. Pfennig, H. Münzel; Nuklidkarte, 4. Aufl. (1974)

#### Anerkennung

Herrn Dr. S. Flach und Herrn E. Kirste, sowie den Operateuren der Zyklotrongruppe sei für ihr hilfsbereites Entgegenkommen bei den Bestrahlungsarbeiten am Zyklotron gedankt. Herrn U. Kaminski danken wir für bereitwillige Bedienung der FR-2-Rohrpostanlage, Herrn Dr. E. Gantner und Herr M. Mostafa für die freundlicherweise ausgeführten gammaspektroskopischen Messungen. Dankende Anerkennung schulden wir nicht zuletzt auch Herrn M. Chebab, Ministry of Energy, Nuclear Energy Department, Algier, für die Durchführung eines Teils der Experimente.

Tabelle 1: Die wichtigsten  $\gamma$ -Linien von U-239 und Np-239 mit den zugehörigen Häufigkeiten (nach Erdtmann und Soyka (6))

U-239		Np-239	
E $\gamma$ (keV)	Häufigkeit (%)	E $\gamma$ (keV)	Häufigkeit (%)
74,67	59,30	106,13	21,06
		103,70	18,00
43,53	5,63	277,60	12,10
		99,50	11,00
		228,19	9,50
		117,70	6,30

Tabelle 2: Maße verwendeter Bestrahlungskapseln

Material	Durchmesser (mm)		Länge (mm)	Gewicht ca. (mg)
	äußerer	innerer		
Quarz	3,0	1,5	22	200
Polyäthylen			(Höhe)	
	9,5	8	5,5	120
Kadmiummetall	10	8,5	27,5	4500

Tabelle 3: In verschiedenen am FR-2 bestrahlten Mineralproben gemessene spezifische Uran-239-Aktivitäten in Abhängigkeit vom Urangehalt

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	Uran- gehalt (%)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{-\lambda t}$	Aktivität Impulse/100 s		
						gemes- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1) NBL No. 42-3	61,00	1,00	0,6100	15,7500	1,5913	1172017	1865039	3057440
2) IAEA S-7	50,15	0,4469	0,2241	11,0833	1,3867	517779	717991	3203886
3) NBL No. 102	52,90	0,100	0,0529	14,8333	1,5488	126594	196074	3706502
4) ASK-2	62,00	0,00215	0,00133	18,0833	1,7047	3325	5668	4261654

Tabelle 4: In verschiedenen Zyklotron-bestrahlten Mineralproben gemessene spezifische U-239-Aktivitäten in Abhängigkeit vom Urangehalt

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	Uran- gehalt (%)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{-\lambda t}$	Aktivität Impulse/300 s		
						gemes- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1) NBL No. 42-1	51,0	4,00	2,040	10,75	1,3731	32228	44258	21690
2) IAEA S-7	50,0	0,4469	0,2234	19,00	1,7514	3153	5522	24720
3) IAEA S-8	42,3	0,1187	0,05021	25,50	2,1215	587	1245	24790

Tabelle 5: Gemessene spezifische U-239-Aktivitäten in Abhängigkeit von verschiedenen durch Verdünnen eines bestimmten Minerals mit Quarzpulver variierten Urangelhalten

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	Uran- gehalt (mg)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{\lambda t}$	Aktivität Impulse/100 s		
						gemes- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1) NBL No. 4	70,15	0,15264	0,107	16,333	1,6189	2718	4400	41121
2) NBL No. 42-4	71,45	0,50	0,357	24,666	2,0699	7129	14756	41333
3) NBL No. 42-3	70,20	1,0	0,702	31,00	2,4952	10822	27003	38465
4) NBL No. 42-1	70,10	4,0	2,804	33,666	2,6993	34756	93816	33458

Tabelle 6: Einfluß des Thoriumgehalts auf die spezifische U-239-Aktivität bestrahlter Uranmengen

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	Zugesetzte ThO <sub>2</sub> -Menge (mg)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{\lambda t}$	Aktivität Impulse/200 s		
						gemes- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1) NBL No. 79-A	42,25	1,10	0,01690	17,50	1,675	2304	3860	228438
2) (1 % Th- und 0,04 % U-Ge- halt)	41,25	2,35	0,01650	23,58	2,0047	1907	3823	231696
3)	40,30	7,00	0,01612	34,08	2,732	1364	3727	231203
4)	39,65	14,00	0,01586	3,16	3,159	1066	3367	212345

**Tabelle 7:** Einfluß vorgelegter Mineralmengen auf die bei der Bestrahlung erzielte spezifische U-239-Aktivität bei 4 %igem Urangehalt

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{-\lambda t}$	Aktivität Impulse/100 s		
					geses- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1)	20,25	0,810	25,33	2,1109	16010	33795	41722
2)	49,70	1,988	27,83	2,2724	35574	80838	40663
3)	74,00	2,960	30,25	2,4406	48086	117358	39648
4)	93,50	3,740	32,75	2,5273	55512	145846	38996
5)	125,90	4,996	35,25	2,8284	56625	160158	32057
6)	157,20	6,288	37,75	3,0448	64696	196986	31327

**Tabelle 8:** Einfluß vorgelegter Mineralmengen auf die bei der Bestrahlung erzielte spezifische U-239-Aktivität bei 0,002 %igem Urangehalt

Mineralbezeichnung	Mineral- einwaage (mg)	vorliegende Uranmenge (mg)	Zeit nach Be- strahlungsende (Min)	$e^{-\lambda t}$	Aktivität Impulse/300 s		
					geses- sen	bei Bestrah- lungsende	spez. Aktivi- tät pro mg U
1)	62,00	0,00133	31,666	2,545	131	333	249470
2)	116,00	0,00249	37,583	3,030	182	553	221630
3)	157,00	0,00338	43,417	3,599	153	551	163200



Tabelle 9: In verschiedenen Mineralproben vorgelegte und durch Analyse wiedergefundene Urangehalte

Nr.	Bezeichnung der Probe	Proben- gewicht	Thorium- gehalt	Urangehalt (%)		Abweichung in Rel. %
				gegeben	gefunden	
1	ASK-1	75,70	0,0015	0,00050	0,00051	2,00
2	IAEA S-12	69,80	-----	0,01187	0,0298	9,35
3	E-1	76,48	-----	0,0210	0,0212	0,95
4	E-2	48,16	-----	0,145	0,126	13,31
5	NBL No. 79-A	87,12	1	0,0400	0,0415	3,75
6	IAEA S-2	19,84	0,0010	0,2650	0,2593	2,15
7	IAEA S-4/1	7,41	0,0005	0,3180	0,2953	7,14
8	IAEA S-4/2	11,40	0,0005	0,3180	0,3100	2,52
9	IAEA S-4/3	23,32	0,0005	0,3180	0,3130	1,57
10	IAEA S-4/4	30,05	0,0005	0,3180	0,3400	6,92
11	IAEA S-4/5	45,05	0,0005	0,3180	0,2936	7,67
12	NBL No. 42-4	63,85	-----	0,500	0,458	8,35

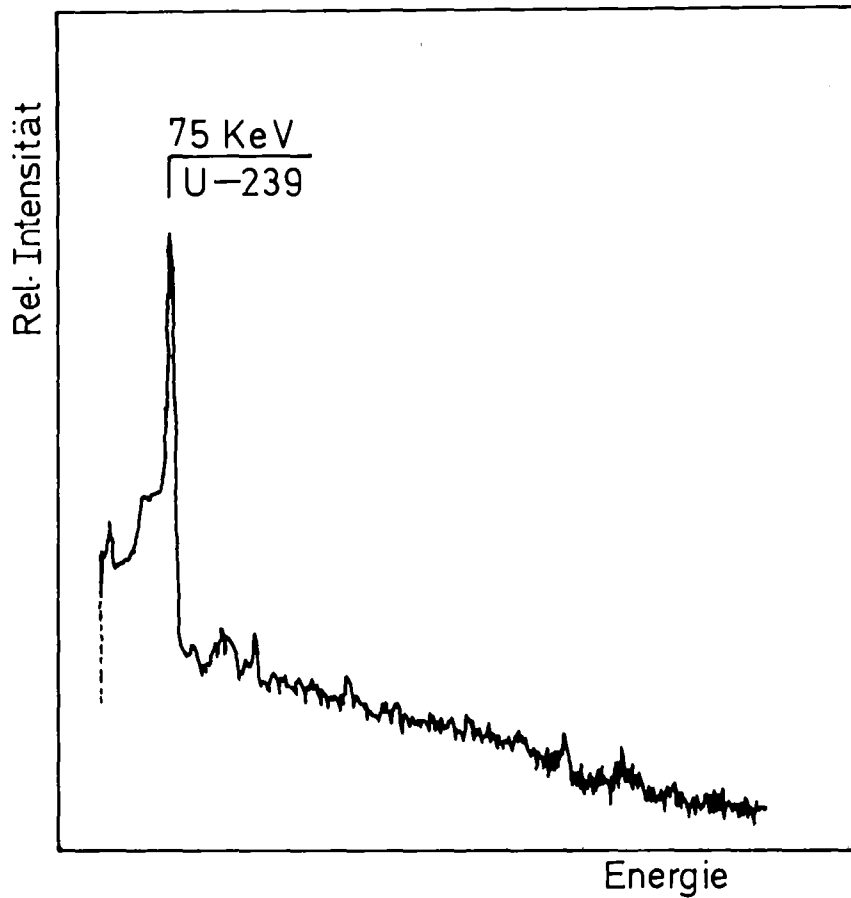


Fig. 1: Gamma-Spektrum von U-239 nach fünfminütiger Bestrahlung von Uran in Kadmiumfolie (logarithmische Auftragung der Intensität).

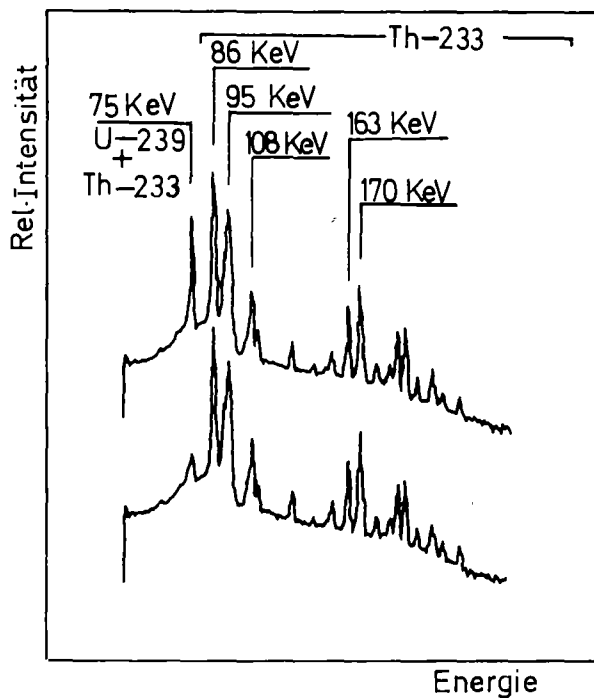


Fig. 2: Gamma-Spektren von in Kadmiumfolie bestrahltem Uran und Thorium.  
 Unten: Thorium allein (Th-233).  
 Oben: Thorium zusammen mit 1/300 seines Gewichts an Uran.  
 (Logarithmische Auftragung der Intensität).