

## Experimente zur Coulombspaltung

G. Franz, H. Ahrens, W. Bröchle, H. Folger, J.-V. Kratz, M. Schädel, I. Warnecke, G. Wirth

GSI Darmstadt

Im Berichtszeitraum wurde mit der Messung der Anregungsfunktionen für Transfer und Spaltung im System  $^{132}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$  unterhalb der klassischen Coulombbarriere begonnen.

Aus Vorversuchen ergab sich die Notwendigkeit, daß die Verunreinigungen der Urantargets durch leichte Elemente (C, N, O) unter 1 ‰ gehalten werden müssen. Für diese Elemente liegen die verwendeten Einschußenergien über der Barriere, und die Bildung von Verdampfungsrestkernen führt zu so hohen Flüssen an schnellen Neutronen, daß neutroneninduzierte Spaltung nicht mehr vernachlässigt werden kann. Die erforderliche Reinheit der Targets kann erreicht werden, wenn auf ein Gold-Backing von  $50 \text{ mg cm}^{-2}$ , das als Catcher für die Reaktionsprodukte dient, nacheinander eine  $1,5 \text{ mg cm}^{-2}$  dicke Uranschicht und eine Goldschuttschicht von  $100 \text{ } \mu\text{g/cm}^{-2}$  aufgedampft werden. Der Einbau der Targets in die Bestrahlungsposition erfolgt unter Schutzgasatmosphäre (Ar). Durch diese Maßnahmen konnte der Gehalt an Verunreinigungen unter 200 ppm gesenkt werden, und in einem dem Au-U-Au-Sandwich hinterlegten Urantarget wurde keine neutroneninduzierte Spaltung nachgewiesen.

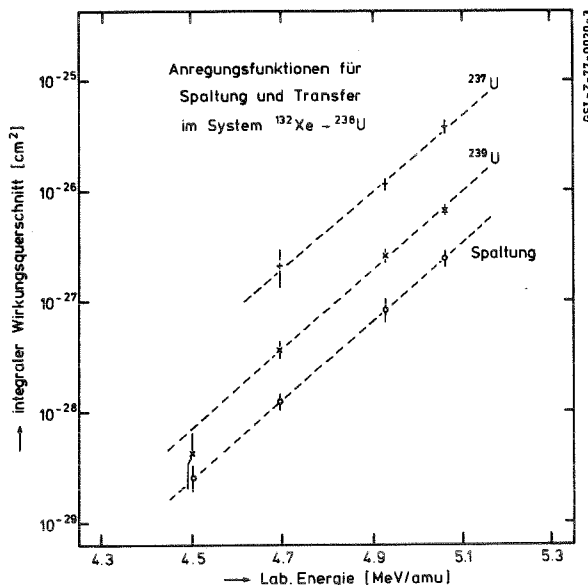
Die Anregungsfunktionen wurden mit Hilfe chemischer Verfahren gemessen, die sich durch ihre hohe Ladungs- und Massenauflösung und durch große Empfindlichkeit auszeichnen. Bestrahlt wurde am UNILAC mit einem integralen Fluß von  $7 \cdot 10^{14}$  Teilchen  $^{132}\text{Xe}$ . Nach Bestrahlungsende wurde das Target chemisch auf eine Uranfraktion, die die Transferprodukte 6,75 d  $^{237}\text{U}$  und 23 min  $^{239}\text{U}$  enthält, und auf die Spaltprodukte 83 min  $^{139}\text{Ba}$  und 16,8 h  $^{97}\text{Zr}$  aufgearbeitet. Die Aktivitätsmessungen erfolgten in einem  $\beta$ -Antikoinzidenzzähler mit sehr niedrigem Untergrund.

Aus den auf chemische Ausbeute und Efficiency des Zählers korrigierten Aktivitäten ergeben sich die integralen Wirkungsquerschnitte für die untersuchten Reaktionskanäle. Die Spaltquerschnitte wurden dabei aus den Wirkungsquerschnitten für die Bildung von  $^{139}\text{Ba}$  und  $^{97}\text{Zr}$  berechnet, wobei die Massenverteilung für die Spaltung von  $^{235}\text{U}$  mit thermischen Neutronen zugrunde gelegt wurde.

Die Abbildung zeigt die Anregungsfunktionen für die zwei Transferkanäle zum  $^{237}\text{U}$  und zum  $^{239}\text{U}$  und für Spaltung. Die Spaltquerschnitte beinhalten sowohl Coulombspaltung als auch mögliche transferinduzierte Spaltung, da mit unserer Meßmethode nicht zwischen diesen beiden

Reaktionskanälen unterschieden wird. Die Werte für  $^{237}\text{U}$  stellen die Summe der Wirkungsquerschnitte für die Bildung von  $^{237}\text{U}$  und seines kurzlebigen  $\beta^-$ -Vorläufers  $^{237}\text{Pa}$  dar. Alle in der Abbildung aufgeführten Projektilenergien liegen unter der klassischen Coulombbarriere von  $5,46 \text{ MeV/amu}$ .

Auffallend sind die unerwartet hohen Wirkungsquerschnitte für die Transferreaktionen, die um den Faktor 17 für  $^{237}\text{U}$  bzw. den Faktor 3 für  $^{239}\text{U}$  über den Spaltquerschnitten liegen. Das Verhältnis der Querschnitte der beiden Transferreaktionen erklärt sich aus den unterschiedlichen Q-Werten ( $^{237}\text{U}$ :  $+0,08 \text{ MeV}$ ,  $^{239}\text{U}$ :  $-3,70 \text{ MeV}$ ). Ein weiteres interessantes Ergebnis der Messungen ist das über den gesamten erfaßten Energiebereich konstante Verhältnis der drei Anregungsfunktionen. Hieraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Da selbst bei den niedrigsten Projektilenergien noch Nukleonentransfer beobachtet wird, kann in dem bislang untersuchten Energiebereich Spaltung nach Transfer nicht ausgeschlossen werden. Die gemessenen Spaltquerschnitte sind damit bestenfalls als obere Grenze für Coulombspaltung anzusehen.



Anregungsfunktionen für Spaltung und Transfer im System  $^{132}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$  bei Energien unterhalb der Coulombbarriere ( $E_B = 5,46 \text{ MeV/amu}$ ).

## Experimente zur Coulombspaltung

G. Franz, H. Ahrens, W. Brüche, H. Folger, J.-V. Kratz, M. Schädel, I. Warnecke, G. Wirth

GSI Darmstadt

Im Berichtszeitraum wurde mit der Messung der Anregungsfunktionen für Transfer und Spaltung im System  $^{132}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$  unterhalb der klassischen Coulombbarriere begonnen.

Aus Vorversuchen ergab sich die Notwendigkeit, daß die Verunreinigungen der Urantargets durch leichte Elemente (C, N, O) unter 1 ‰ gehalten werden müssen. Für diese Elemente liegen die verwendeten Einschußenergien über der Barriere, und die Bildung von Verdampfungsrestkernen führt zu so hohen Flüssen an schnellen Neutronen, daß neutroneninduzierte Spaltung nicht mehr vernachlässigt werden kann. Die erforderliche Reinheit der Targets kann erreicht werden, wenn auf ein Gold-Backing von  $50 \text{ mg cm}^{-2}$ , das als Catcher für die Reaktionsprodukte dient, nacheinander eine  $1,5 \text{ mg cm}^{-2}$  dicke Uranschicht und eine Goldschuttschicht von  $100 \mu\text{g/cm}^{-2}$  aufgedampft werden. Der Einbau der Targets in die Bestrahlungsposition erfolgt unter Schutzgasatmosphäre (Ar). Durch diese Maßnahmen konnte der Gehalt an Verunreinigungen unter 200 ppm gesenkt werden, und in einem dem Au-U-Au-Sandwich hinterlegten Urantarget wurde keine neutroneninduzierte Spaltung nachgewiesen.

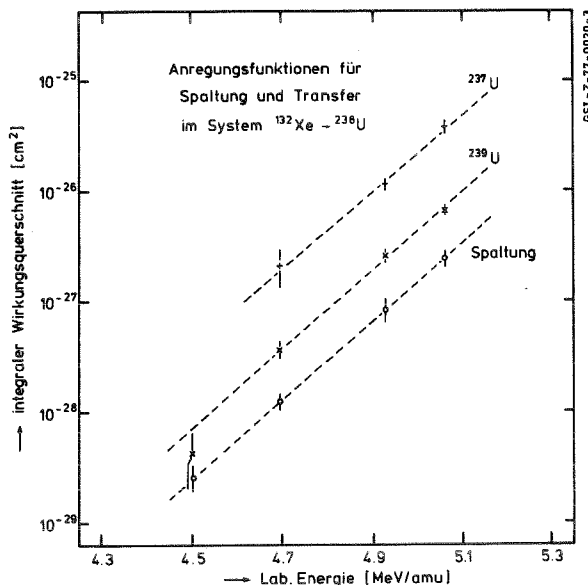
Die Anregungsfunktionen wurden mit Hilfe chemischer Verfahren gemessen, die sich durch ihre hohe Ladungs- und Massenauflösung und durch große Empfindlichkeit auszeichnen. Bestrahlt wurde am UNILAC mit einem integralen Fluß von  $7 \cdot 10^{14}$  Teilchen  $^{132}\text{Xe}$ . Nach Bestrahlungsende wurde das Target chemisch auf eine Uranfraktion, die die Transferprodukte 6,75 d  $^{237}\text{U}$  und 23 min  $^{239}\text{U}$  enthält, und auf die Spaltprodukte 83 min  $^{139}\text{Ba}$  und 16,8 h  $^{97}\text{Zr}$  aufgearbeitet. Die Aktivitätsmessungen erfolgten in einem  $\beta$ -Antikoinzidenzzähler mit sehr niedrigem Untergrund.

Aus den auf chemische Ausbeute und Efficiency des Zählers korrigierten Aktivitäten ergeben sich die integralen Wirkungsquerschnitte für die untersuchten Reaktionskanäle. Die Spaltquerschnitte wurden dabei aus den Wirkungsquerschnitten für die Bildung von  $^{139}\text{Ba}$  und  $^{97}\text{Zr}$  berechnet, wobei die Massenverteilung für die Spaltung von  $^{235}\text{U}$  mit thermischen Neutronen zugrunde gelegt wurde.

Die Abbildung zeigt die Anregungsfunktionen für die zwei Transferkanäle zum  $^{237}\text{U}$  und zum  $^{239}\text{U}$  und für Spaltung. Die Spaltquerschnitte beinhalten sowohl Coulombspaltung als auch mögliche transferinduzierte Spaltung, da mit unserer Meßmethode nicht zwischen diesen beiden

Reaktionskanälen unterschieden wird. Die Werte für  $^{237}\text{U}$  stellen die Summe der Wirkungsquerschnitte für die Bildung von  $^{237}\text{U}$  und seines kurzlebigen  $\beta^-$ -Vorläufers  $^{237}\text{Pa}$  dar. Alle in der Abbildung aufgeführten Projektilenergien liegen unter der klassischen Coulombbarriere von 5,46 MeV/amu.

Auffallend sind die unerwartet hohen Wirkungsquerschnitte für die Transferreaktionen, die um den Faktor 17 für  $^{237}\text{U}$  bzw. den Faktor 3 für  $^{239}\text{U}$  über den Spaltquerschnitten liegen. Das Verhältnis der Querschnitte der beiden Transferreaktionen erklärt sich aus den unterschiedlichen Q-Werten ( $^{237}\text{U}$ : +0,08 MeV,  $^{239}\text{U}$ : -3,70 MeV). Ein weiteres interessantes Ergebnis der Messungen ist das über den gesamten erfaßten Energiebereich konstante Verhältnis der drei Anregungsfunktionen. Hieraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Da selbst bei den niedrigsten Projektilenergien noch Nukleonentransfer beobachtet wird, kann in dem bislang untersuchten Energiebereich Spaltung nach Transfer nicht ausgeschlossen werden. Die gemessenen Spaltquerschnitte sind damit bestenfalls als obere Grenze für Coulombspaltung anzusehen.



Anregungsfunktionen für Spaltung und Transfer im System  $^{132}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$  bei Energien unterhalb der Coulombbarriere ( $E_B = 5,46 \text{ MeV/amu}$ ).

Produktverteilungen in der Reaktion von  $\leq 5.9 \text{ MeV/A}$   $^{129,132,136}\text{Xe}$  mit  $^{197}\text{Au}$

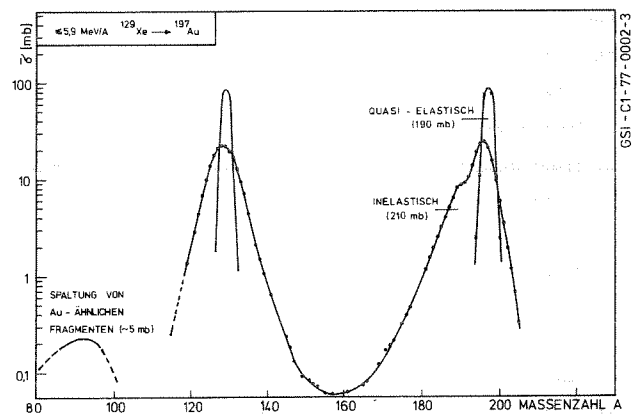
J.V. Kratz, H. Ahrens, W. Bröchle, G. Franz, M. Schädel, I. Warnecke, G. Wirth  
 GSI Darmstadt

G. Klein, M. Weis  
 Institut für Kernchemie, Universität Mainz

Das beim Beschuß von dicken  $^{197}\text{Au}$ -Targets mit isotopengetretenen Strahlen von  $^{129}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$  und  $^{136}\text{Xe}$  bei  $5.9 \text{ MeV/A}$  entstehende Gemisch radioaktiver Reaktionsprodukte wurde mit chemischen Trennverfahren in 16 chemische Fraktionen aufgetrennt. Durch  $\gamma$ -Spektrometrie wurden integrale Bildungsquerschnitte  $\sigma(Z, A)$  von zahlreichen Isotopen gemessen und daraus Ladungs- und Massenverteilungen abgeleitet. Die komplette Massenverteilung für  $^{197}\text{Au} + ^{129}\text{Xe}$  ist in der Abbildung dargestellt. Quasi-elastischer Transfer und inelastischer Transfer sind zu etwa gleichen Teilen am Reaktionsquerschnitt beteiligt. Sequentielle Spaltung hochangeregter quasi-Au Kerne ( $\sim 5 \text{ mb}$ ) spielt im untersuchten Energiebereich ( $\bar{E}/B = 1.06$ ) keine dominante Rolle. Aus der Beobachtung symmetrischer Fragmente muß gefolgert werden, daß dem Diffusionsprozess bei großem TKE-Verlust ein Driftprozess überlagert ist. Die Lage der Isotopenverteilungen im inelastischen Kanal läßt sich durch ein wahrscheinlichstes  $N/Z$ -Verhältnis beschreiben. Aus den wahrscheinlichsten  $N/Z$ -Verhältnissen für komplementäre leichte und schwere Elemente läßt sich die "missing mass" bestimmen. Für die dem quasi-elastischen Transfer zugeordneten Produkte liegt die missing mass bei Null. Für die Produkte aus energiegelächzten Kollisionen steigt die missing mass mit wachsendem Massentransfer an und erreicht für symmetrische Fragmentationen überraschend hohe Werte um 15. Da die Z-Verteilung um  $(Z_T + Z_P)/2$  symmetrisch ist, wird gefolgert, daß keine geladenen Teilchen von den primären Fragmenten emittiert werden und daß die missing mass der Gesamtzahl der von den primären Fragmenten abgedampften Neutronen gleichzusetzen ist. Verdampfungsrechnungen zeigen, daß zur Abdampfung von 15 Neutronen bei symmetrischen Fragmentationen im vorliegenden Falle wesentlich höhere Anregungsenergien erforderlich sind, als sie bei totaler Energiedämpfung in einem System von sich berührenden sphärischen Kernen möglich sind. Die beobachteten hohen Anregungsenergien sind nur unter der Annahme einer erheblichen Deformation der Fragmente im Ausgangskanal verständlich. Der Vergleich der experimentellen  $N/Z$ -Populationen in energiegelächzten Kollisionen beim Beschuß von  $^{197}\text{Au}$

mit  $^{129}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$  bzw.  $^{136}\text{Xe}$  zeigt, daß für einen Transfer von  $\Delta Z \geq 2$  eine vollständige Gleichgewichtseinstellung des  $N/Z$ -Freiheitsgrades stattfindet. Für geringeren Transfer und insbesondere für  $\Delta Z = 0$  (hoher Beitrag von Kollisionen mit unvollständiger Energiedämpfung) wird auch nach Eliminierung des quasi-elastischen Anteils noch keine vollständige Gleichgewichtseinstellung beobachtet. Es muß gefolgert werden, daß - im Gegensatz zu leichten Systemen wie  $^{58}\text{Ni} + ^{40}\text{Ar}$  - die Relaxation der  $N/Z$ -Verhältnisse im System  $^{197}\text{Au} + \text{Xe}$  nicht wesentlich schneller erfolgt als der Energietransfer.

<sup>1</sup>J. Galin et al., Z. Physik, A 278, 347 (1976)



Massenverteilung in der Reaktion von  $5.90 \text{ MeV/A}$   $^{129}\text{Xe}$  mit einem dicken  $^{197}\text{Au}$ -Target. Die sich aus denselben Daten ergebende Z-Verteilung ist um  $(Z_T + Z_P)/2$  symmetrisch. Die Struktur in der Massenverteilung der inelastischen Komponente bei  $A=190$  wird durch die unvollständige Gleichgewichtseinstellung der  $N/Z$ -Verhältnisse um  $Z=79$  hervorgerufen.

M. Boloré, R. Lucas, H. Nifenecker, J. Poitou (CEN Saclay)  
and  
W. Bröchle, Y. Eyal, G. Franz, J.V. Kratz, G. Wirth (GSI Darmstadt)

Catcher foil techniques in combination with off-line X-ray and  $\gamma$ -ray spectroscopy and X $\gamma$ -coincidence measurements have been applied to determine i) angular distributions and ii) recoil ranges for light and heavy products formed in the bombardment of 300  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  Au targets and 290  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$   $^{74}\text{Ge}$  targets with  $^{132}\text{Xe}$  ions. The evaluation of the X-ray spectra has been completed. The experimental setup and typical data for both parts of the experiment are shown in Fig. 1. For Au+Xe the angular distributions are strongly peaked for the Xe-like fragments at  $40^\circ$  ( $70^\circ$  c.m.) and for the Au-like fragments at  $50^\circ$ . The side peaking persists for the entire range of elements, however, in the region of  $64 < Z < 69$  the peaks become rather broad (see Fig. 1). The projected ranges are used to extract the range (see Fig. 1) and velocities are taken from the Northcliffe-Schilling tables. For  $Z > 70$  kinematics calculations were performed. The preliminary results are compared in Fig. 2 with the TKE values corresponding to complete energy damping in a system of touching spheres. The TKE-loss exceeds this limit for large mass transfer through fragment deformation in the exit channel.

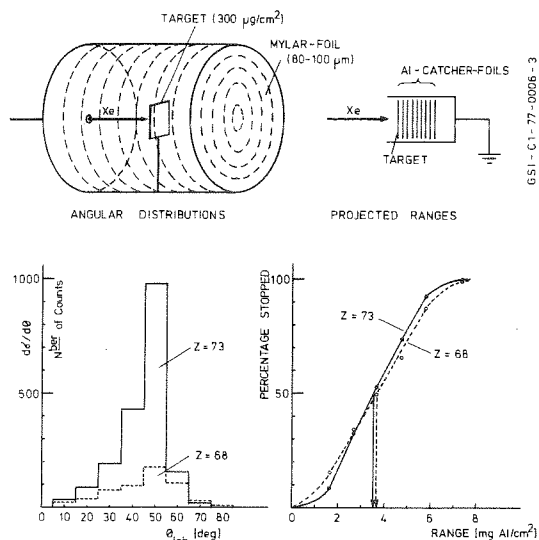


Fig. 1 Upper part: Experimental setup for angular distributions (left) and proj. ranges (right). Lower part: Typical data for both parts of the Au+Xe experiment.

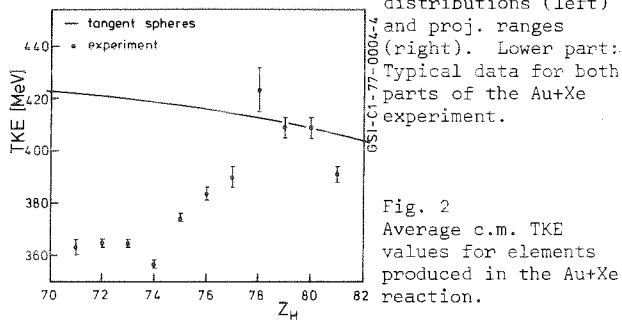


Fig. 2 Average c.m. TKE values for elements produced in the Au+Xe reaction.

The results are quite similar to those obtained by Moretto for the light fragments from  $^{197}\text{Au}+^{136}\text{Xe}$  at 979 MeV<sup>1</sup>. As suggested by Moretto, there may be a connection between the low TKE values and the persistence of the side peak for large mass transfer, because the elongated shapes increase the rotation time.

The Au+Xe experiments complement radiochemical work on the same system<sup>2</sup>. It is interesting to note that the selective population of the  $2^-$ -ground states of uu-Au isotopes by the quasi-elastic transfer and the population of their  $12^-$ -isomeric states in damped collisions<sup>2</sup> is corroborated by the observation of different ranges for the isomeric pairs in this work.

The system  $^{74}\text{Ge}+^{132}\text{Xe}$  (5.81 MeV/A) is being investigated with the same techniques. In the X-ray data from the range experiment there is some indication for evaporation residues of the compound nucleus  $^{206}_{86}\text{Rn}$  which is formed at 110 MeV excitation energy. This has to be confirmed by the yet unanalyzed  $\gamma$ -ray data. The X-ray results for the angular distributions are shown in Fig. 3. Aside from the quasi-elastic peak which appears obviously for  $Z=32$ , a rather broad distribution with a sharp decrease above a limiting angle can be seen for all products. The most probable angle decreases continuously as  $Z$  increases. Future measurements of ranges at selected angles will allow us to determine the velocities for all products.

<sup>1</sup>P. Russo et al., LBL-Report, LBL-5050 (1976).

<sup>2</sup>J.V. Kratz et al., CAEN-Conference (1976), Communications p. 175.

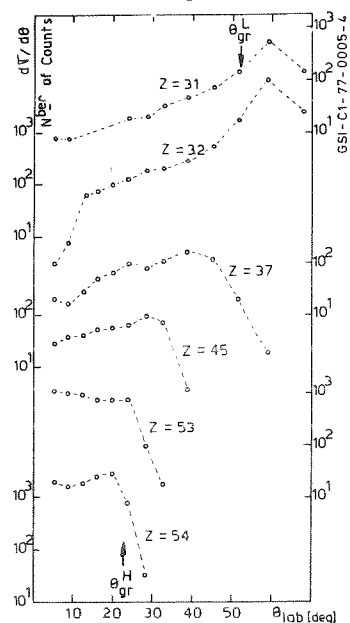


Fig. 3 Laboratory angular distributions for elements produced in the Ge+Xe reaction.

Übersichtsexperimente zur Reaktion  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{238}\text{U}$ 

J.V. Kratz, H. Ahrens, W. Bröchle, G. Franz, H. Gäggeler, M. Schädel, I. Warnecke, G. Wirth

GSI Darmstadt

N. Trautmann, M. Weis

Institut für Kernchemie, Universität Mainz

G. Herrmann

Institut für Kernchemie, Universität Mainz und GSI Darmstadt

Es wurde damit begonnen, die Reaktion von  $^{238}\text{U}$ -Ionen mit dicken  $^{238}\text{U}$ -Targets bei 6.8 MeV/A und 7.5 MeV/A mit kernchemischen Methoden zu untersuchen. Bei 6.8 MeV/A ist die Produktverteilung um  $Z=92$  noch so schmal, daß keine Produkte um  $Z=82$  beobachtet werden konnten (z.B.  $\sigma < 100 \mu\text{barn}$  für  $^{199}\text{Au}$ ). Bei 7.5 MeV/A wurde dagegen ein Transfer bis herab zu  $Z=79$  nachgewiesen. Die aus den noch unvollständigen Daten erhaltene vorläufige Massenverteilung ist in der Abbildung dargestellt. Die Produkte um  $A=238$  wurden aufgrund enger Ladungsdispersionen dem quasi-elastischen Transfer (steile Struktur,  $\sigma=920 \text{ mb}$ ) und dem durch breitere Dispersionen neutronenärmerer Kerne charakterisierten inelastischen Transfer ( $\sigma=170 \text{ mb}$ ) zugeordnet. Die inelastische Komponente weist ein Maximum bei  $Z \approx 90$  auf und fällt zu schwereren Massen infolge sequentieller Spaltung steil ab. Im Massenbereich  $60 \leq A \leq 175$  wird ein massiver Beitrag von Produkten aus solchen sequentiellen Spaltreaktionen beobachtet. Wiederum aufgrund unterschiedlicher Ladungsdispersionen kann diese Verteilung in einen um  $Z=46-47$  fast symmetrischen Anteil (sequentielle Spaltung eines oder beider Fragmente aus energiegedämpften Kollisionen mit  $E^* > 40 \text{ MeV}$ ) und eine aus neutronenreichen Kernen gebildete asymmetrische Spaltproduktverteilung (sequentielle Spaltung nach quasi-elastischem Transfer bei niedriger Anregungsenergie und Coulomb-spaltung) zerlegt werden. Für das untersuchte Energieintervall ergibt sich durch Summation ein mittlerer Reaktionsquerschnitt von etwa  $975 \text{ mb}$ , wobei darauf geachtet werden muß, daß einzelne Beiträge nicht mehrfach gerechnet werden. Der Anteil inelastischer Reaktionen  $\sigma_{\text{DIT}}$  beträgt demnach  $365 \text{ mb}$ . Der mit der in der Abbildung angegebenen Radius-Parametrisierung berechnete mittlere Reaktionsquerschnitt ergibt sich zu  $900 \text{ mb}$ .

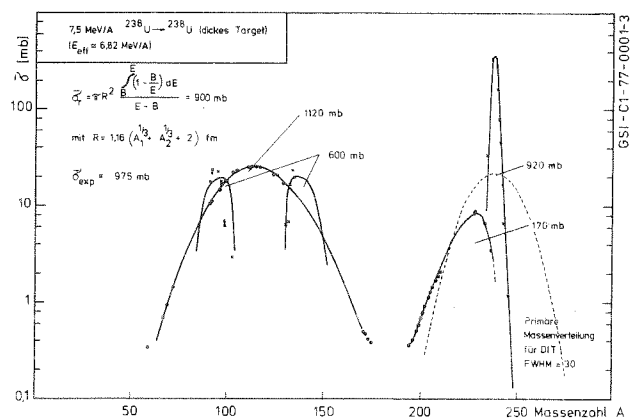
Ein Vergleich der beobachteten  $N/Z$ -Population zwischen  $Z=92$  und  $Z=79$  mit der durch Minimalisierung der potentiellen Energie des Doppelkernsystems<sup>1</sup> vorausgesagten Primärpopulation ergibt Anhaltspunkte für die mittlere Zahl der von den Fragmenten aus inelastischen Kollisionen abgedampften Neutronen. Sie liegt für  $Z=90$  bei  $\nu=3$  und steigt für größeren Massentransfer auf  $\nu=9$  ( $Z=79$ ) an (Zunahme des  $Q$ -Werts mit wachsendem Massentransfer). Aus  $\sigma_{\text{DIT}}=365 \text{ mb}$ , mit den eben genannten  $\nu$ -Werten, und unter der Annahme einer Spaltwahrscheinlichkeit  $P_f=0$  für  $Z=79$ , läßt sich die primäre Massenverteilung für den inelastischen Transfer wie in der Abbildung angedeutet angeben. Ihre Halbwertsbreite

beträgt 30 Masseneinheiten.

Zur Beantwortung der Frage, ob Produkte mit  $Z > 92$  trotz der hohen Spaltwahrscheinlichkeit nachgewiesen werden können, wurden im Anschluß an eine 17stündige Strahlzeit bei einem mittleren Fluß von  $5 \times 10^{10}$  Uranionen/sec chemische Fraktionen von Np, Pu, Am-Cm, und Bk-Lw abgetrennt, durch Elektroplating präpariert, und ihre  $\alpha$ - und SF-Aktivitäten über mehrere Monate gemessen. Die Messungen dauern zur Zeit noch an. Neben einigen Np, Pu, Am, Cm und Cf-Isotopen konnten auch  $^{252,253}\text{Es}$  und  $^{255}\text{Es}$  vorläufig zugeordnet werden; zur eindeutigen Identifizierung muß in einigen Fällen jedoch noch eine Halbwertszeitbestimmung abgewartet werden. Die Querschnitte liegen durchweg um Größenordnungen über den für  $^{136}\text{Xe} \rightarrow ^{238}\text{U}$  gemessenen Werten<sup>2</sup>. Eine Analyse der Daten im Sinne einer  $\left[ \frac{n}{f} \right]$ -Systematik und eine Extrapolation in das Gebiet überschwerer Kerne sind in Arbeit. Experimentelle Hinweise auf die Existenz langlebiger superschwerer Kerne in den relevanten chemischen Fraktionen (Elemente 111-116) sind bisher nicht vorhanden.

<sup>1</sup>V.V. Volkov, Nashville Conference, Vol. II, p. 363, 1974

<sup>2</sup>K.L. Wolf, APS-Meeting, Chicago, 7-10 February 1977.



Massenverteilung für die Reaktion von 7.5 MeV/A  $^{238}\text{U}$ -Ionen mit einem dicken  $^{238}\text{U}$ -Target. Aus den Daten ergibt sich für die primäre, um  $A=238$  symmetrische Massenverteilung für tief inelastischen Transfer eine Halbwertsbreite von 30 Masseneinheiten.

Nachweis spontanspaltender Isotope mit  $Z \geq 100$ 

G. Wirth, H. Ahrens, W. Bögl<sup>†)</sup>, G. Franz, J.V. Kratz, D. Marx, F. Nickel, I. Warnecke, W. Weber  
 GSI Darmstadt

Bei der Suche nach spontanspaltenden Aktiniden, Transaktiniden und superschweren Kernen ist mit kleinen Bildungsquerschnitten zu rechnen. Die verwendete Methode erlaubt den Nachweis von Spontanspaltern mit Halbwertszeiten  $T_{1/2} \geq 1$  msec und weist die für die Suche nach schweren Kernen mit Bildungsquerschnitten von  $\sim 10^{-34}$  cm<sup>2</sup> erforderliche Empfindlichkeit auf. Ein ähnliches System ist von Oganessian et al.<sup>1</sup> zur Synthese und zum Nachweis neuer Isotope von Elementen mit  $Z \geq 100$  eingesetzt worden. Es handelt sich um ein wassergekühltes, rotierendes Rad ( $\leq 4000$  U/min), auf dessen Stirnfläche die Targetsubstanz in Schichtdicken von  $\sim 4$  mg/cm<sup>2</sup> aufgedampft wird. Der Ionenstrahl trifft das Rad tangential. Dadurch dient die Targetschicht sowohl als dickes Target, in dem die Anregungsfunktionen der Fusionskanäle integriert werden, als auch als Catcher für die Fusionsprodukte. Etwa 80% des Radumfangs sind im Abstand von 2 mm von einer 10  $\mu$ m dicken Makrofol-Folie umgeben, die von den Spaltfragmenten durchschlagen wird. Nach Ätzen mit Natronlauge werden die Spaltspuren durch Funkenentladung sichtbar gemacht. Aus der örtlichen Verteilung der Spuren und der Rotationsgeschwindigkeit des Rades läßt sich die Halbwertszeit des Spontanspalters ermitteln. Die Nachweiswahrscheinlichkeit des Systems ergibt sich für die Reaktion 5.9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$  auf  $^{208}\text{Pb}$  zu 36%.

Es wurden die integralen Wirkungsquerschnitte für die Bildung von  $^{244}\text{Fm}$  bei der Reaktion von 5.9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$  mit  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}$  gemessen. Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Verteilung der Spaltspuren längs der Folie für  $^{40}\text{Ar}$  auf  $^{206}\text{Pb}$ , wobei die Abszisse entsprechend der Rotationsgeschwindigkeit des Rades in msec geteilt ist. Aus der Zerfallskurve ergibt sich die Halbwertszeit  $T_{1/2} = 3.6$  msec in guter Übereinstimmung mit dem Wert von Nurmia et al.<sup>2</sup> für das  $^{244}\text{Fm}$  von  $3.3 \pm 0.5$  msec. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen. Die angegebenen Wirkungsquerschnitte sind, da es sich um dicke Targets handelt, als mittlere integrale Wirkungsquerschnitte von  $E_{\text{max}} = 5.9$  MeV/amu bis  $B_{\text{int}}$  zu verstehen.

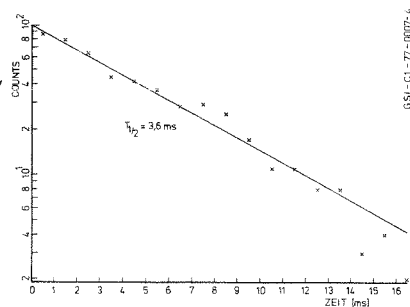


Abb.1 Spaltspuren bei 5.9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$  auf  $^{206}\text{Pb}$

Tab.1 Ergebnisse für die Reaktionen von 5.9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$  mit verschiedenen Pb-Isotopen

Target	Integraler Teilchenfluß	Zahl der Spuren	Reaktion Compoundkern-xn	$\sigma$ [cm <sup>2</sup> ]
$^{206}\text{Pb}$	$1.3 \cdot 10^{17}$	497	2n	$0.7 \cdot 10^{-33}$
$^{207}\text{Pb}$	$3.3 \cdot 10^{16}$	272	3n	$1.6 \cdot 10^{-33}$
$^{208}\text{Pb}$	$4.9 \cdot 10^{16}$	740	4n	$1.6 \cdot 10^{-33}$

Im Falle vom  $^{208}\text{Pb}$  gibt es neben dem  $^{244}\text{Fm}$  einen konstanten Untergrund vom Spontanspalter  $1.2$  s  $^{246}\text{Fm}$  aus der Reaktion  $^{40}\text{Ar}(^{208}\text{Pb}, 2n)^{246}\text{Fm}$ . Die Zerfallskurve wurde unter Vorgabe der Halbwertszeiten analysiert. In einem späteren Versuch soll bei der Bestrahlung von  $^{208}\text{Pb}$  mit  $^{40}\text{Ar}$  durch langsame Drehgeschwindigkeit des Rades das 3.6 msec  $^{244}\text{Fm}$  unterdrückt und das  $^{246}\text{Fm}$  als Zerfallskurve mit einer Komponente gemessen werden.

Bemerkenswert ist, daß sich die Wirkungsquerschnitte für die 2n, 3n und 4n - Reaktion maximal um einen Faktor 2 unterscheiden. Zwar sind die Compoundkerne in den drei Fällen jeweils um ein Neutron verschoben, doch sollten sich die minimalen Anregungsenergien der Compoundkerne bei  $^{206}\text{Pb}$  beziehungsweise  $^{208}\text{Pb}$  als Target nur um  $\sim 0.2$  MeV unterscheiden. Bei Verwendung von  $\left[\frac{n}{f}\right]$  Werten aus einer empirischen Formel ist, wenn keine anderen Unterschiede eine Rolle spielen, für  $^{40}\text{Ar}(^{208}\text{Pb}, 2n)^{246}\text{Fm}$  ein etwa 3mal größerer Wirkungsquerschnitt gegenüber der Reaktion  $^{40}\text{Ar}(^{206}\text{Pb}, 2n)^{244}\text{Fm}$  zu erwarten. Die bisherigen experimentellen Daten deuten an, daß der Unterschied noch größer ist.

Bei der Bestrahlung von  $^{nat}\text{Tl}$  mit integral  $3 \cdot 10^{16}$  5.9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$  wurden 40 Spaltspuren mit einer Verteilung entsprechend  $T_{1/2} \geq 50$  msec gefunden, was die Zuordnung der 3.6 msec Komponente zum  $^{244}\text{Fm}$  stützt. Die 40 Spuren sind wahrscheinlich einem spontanspaltenden Isotop von Es, Bk oder Am zuzuordnen. Die Halbwertszeit von  $T_{1/2} \geq 50$  msec kann durch einen Vorläufer bestimmt sein.

Mit 5.9 MeV/amu  $^{86}\text{Kr}$  auf  $^{208}\text{Pb}$  wurde nach spontanspaltenden Folgeprodukten des Compoundkerns  $^{294}\text{Lr}$  gesucht. Es wurde kein Spontanspalter gefunden. Für den integralen Bildungsquerschnitt ergibt sich im Halbwertszeitbereich  $3 \text{ msec} \leq T_{1/2} \leq 5 \text{ h}$  ein Grenzwert von  $\sigma \leq 6 \cdot 10^{-35}$  cm<sup>2</sup>.

<sup>†)</sup> Jetzt Bundesgesundheitsamt, 1 Berlin

<sup>1</sup>Y.T. Oganessian et al., Nucl. Phys. **A239**, 157 (1975)

<sup>2</sup>M. Nurmia et al., Phys. Lett. **26B**, 78 (1967)

## Suche nach superschweren Elementen in der Natur

R. Heimann, N. Kaffrell, H. Menke, R. Stakemann, G. Tittel, N. Trautmann, M. Weber  
 Institut für Kernchemie der Universität Mainz

G. Herrmann  
 Institut für Kernchemie der Universität Mainz und GSI Darmstadt

H. Ahrens, W. Brüchele, J.-V. Kratz  
 GSI Darmstadt

## 1. Einleitung

In der Veröffentlichung von Gentry et al.<sup>1</sup> über die Existenz superschwerer Elemente in Monaziteinschlüssen von radioaktiven Riesenhöfen werden für diese Elemente Konzentrationen von >100 ppm angegeben. Aufgrund der Entstehungsgeschichte der Monazite ist zu erwarten, daß die Elemente um Z=126 auch in Bulkmonaziten auftreten sollten, wobei die Konzentrationen allerdings geringer sein könnten. Wir haben deshalb begonnen, Monazite aus verschiedenen Gegenden direkt oder nach chemischer Auftrennung mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz- bzw. der  $\alpha$ -Spektroskopie zu untersuchen.

## 2. Röntgenfluoreszenzanalyse von Monaziten

Gentry et al.<sup>1</sup> haben zum Nachweis der superschweren Elemente die protoneninduzierte Röntgenstrahlung herangezogen. Zwischenzeitlich konnte gezeigt werden, daß die für die Zuordnung wichtigste Linie bei 27,2 keV, die als  $L_{\alpha 1}$ -Röntgenlinie des Elementes 126 interpretiert wurde, beim Protonenbeschuß zum Teil oder vollständig von der Reaktion  $^{140}\text{Ce}(p,n)^{140}\text{Pr}$  herrührt<sup>2,3</sup>. Um diese Störung zu vermeiden, wurde von uns die  $\gamma$ -strahlungsinduzierte Röntgenfluoreszenzspektroskopie benutzt. Jeweils 30-35 mg Monazit wurden mit einem zinnfreien Si(Li)-Detektor gemessen; als Anregungsquelle diente ein  $^{241}\text{Am}$ -Präparat. In keiner der bisher untersuchten 18 Proben konnten Hinweise für die Existenz superschwerer Elemente gefunden werden, trotz der guten Zählstatistik und einer akzeptablen Übereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung mit den von Gentry et al. verwendeten Monaziteinschlüssen.

## 3. Chemische Auftrennung der Monazite

Sowohl bei der protoneninduzierten Röntgenspektroskopie als auch bei der Röntgenfluoreszenzanalyse von Monaziten lassen sich nur Aussagen über die  $L_{\alpha}$ -Linien der superschweren Elemente machen, da die anderen Linien der L-Serie durch die Röntgenpeaks der Hauptbestandteile verdeckt werden. Um die Messungen auf die anderen L-Linien ausdehnen zu können und zur Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit wurden deshalb Monazite in 20 g Chargen chemisch in Fraktionen zerlegt, in denen die superschweren Elemente je nach ihrem chemischen Verhalten vorkommen könnten. Dazu wurden die Proben mit konz. Schwefelsäure behandelt und der unlösliche Rückstand mit Natriumperoxid aufgeschlossen. Aus den vereinten Lösungen wurden durch eine Anzahl von Trennoperationen folgende Fraktionen isoliert:

1. Edelmetalle und Sulfidbildner, 2. Alkalien und Erdalkalien, 3. Lanthaniden, 4. Thorium und Homologe, 5. Plutonium und Homologe und 6. Uran und Homologe. Abb. 1 zeigt das Röntgenfluoreszenzspektrum der Plutoniumfraktion im Bereich zwischen 22 und 34 keV. Nach theoretischen Voraussagen sollte Element 126 chemisch dem Plu-

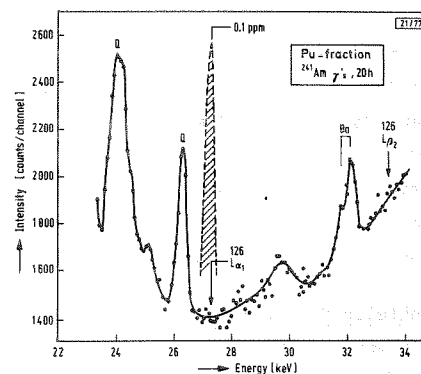


Abb. 1: Röntgenfluoreszenzspektrum der Pu-Fraktion nach chemischer Abtrennung aus einem Madagaskar-Monazit (Ambatofotsikely)

tonium ähnlich sein. Außer den Quellpeaks und den Röntgenlinien des Bariums, die von einer Verunreinigung in den Reagenzien herrühren, sind keine weiteren Peaks zu erkennen, auch nicht bei den mit einem Pfeil markierten Positionen der  $L_{\alpha 1}$ - und  $L_{\beta 2}$ -Linien des Elementes 126. Der schraffierte Peak würde einer Konzentration von 0,1 ppm dieses Elementes entsprechen. In den übrigen Fraktionen konnten ebenfalls keine superschweren Elemente mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzspektroskopie nachgewiesen werden. Dasselbe gilt für die  $\alpha$ - und Spaltfragmentmessungen der Uran- und Plutoniumfraktionen. Wohl aber wurden die Elemente Zinn, Antimon, Tellur und Indium, deren K-Röntgenlinien im Bereich der  $L_{\alpha}$ -Linien superschwerer Elemente liegen, in ppm-Mengen gefunden.

<sup>1</sup>R.V. Gentry, T.A. Cahill, N.R. Fletcher, H.C. Kaufmann, L.R. Medsker, J.W. Nelson, R.G. Flocchini, Phys. Rev. Letters **37**, 11 (1976)

<sup>2</sup>J.D. Fox, W.J. Courtney, K.W. Kemper, A.H. Lumpkin, N.R. Fletcher, L.R. Medsker, Phys. Rev. Letters **37**, 629 (1976)

<sup>3</sup>F. Bosch, A. El Goresy, W. Krätschmer, B. Martin, B. Povh, R. Nobiling, K. Traxel, D. Schwalm, Z. Physik **A208**, 39 (1977)

Chemische Verfahren zur Abtrennung exotischer Kerne nach Schwerionenreaktionen

1. Suche nach Hochspin-Isomeren im Bereich  $70 < Z < 74$

H. Ahrens  
GSI Darmstadt

K.H. Gläsel, N. Kaffrell, K. Sümmerer, N. Trautmann  
Inst. f. Kernchemie, Universität Mainz

W. Kurcewicz, Z. Preibisz, J. Żylicz  
Inst. f. Experimentalphysik, Universität Warschau

2. Herstellung neutronenreicher schwerer Kerne

H. Ahrens, H. Folger  
GSI Darmstadt

R. Heimann, N. Kaffrell, G. Klein, G. Tittel, N. Trautmann  
Inst. f. Kernchemie, Universität Mainz

Zur Suche nach Hochspin-Isomeren im Gebiet  $70 < Z < 74$  sollen dicke Wolfram-Targets mit Edelgasionen bestrahlt und die durch Multinukleonentransfer erzeugten Reaktionsprodukte  $\gamma$ -spektroskopisch untersucht werden. Dazu ist es erforderlich, die interessierenden Elemente aus dem komplexen Produktgemisch chemisch abzutrennen und von den erhaltenen Proben  $\gamma$ -singles und  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzspektren aufzunehmen. Die ersten Experimente zielten darauf ab, nach bekannten ( $^{180m}\text{Hf}$  und  $^{179m}\text{Hf}$ ) und unbekanntem Isomeren des Hafniums zu suchen.

Die Abtrennung des Hafniums von den übrigen Reaktionsprodukten erfolgt nach Auflösen des bestrahlten Wolfram-Targets in einem Gemisch von konz.  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  und HF und Ausfällen des Wolframs als  $\text{WO}_3$  durch Extraktion in Tri-n-butylphosphat (TBP) aus 12 n  $\text{HNO}_3$  an einem quasi-festen Extraktionsmittelboden. Zur weiteren Reinigung wird das Hafnium mit 1 n HCl eluiert, das Eluat über einen Di-2-äthylhexylorthophosphorsäure (HDEHP)-Boden gesaugt und mit verdünnter Salzsäure nachgewaschen. Nach der Elution mit 0,25 n HF wird die Hafnium-Aktivität mit Ammoniak ausgefällt. Dieses chemische Trennverfahren ermöglicht noch Nuklide mit Halbwertszeiten im Minutenbereich zu erfassen; die chemische Ausbeute liegt bei etwa 70 %.

In einem ersten Test wurde ein dickes Wolfram-Target 7 h mit 5,9 MeV/amu  $^{40}\text{Ar}$ -Ionen ( $\sim 1 \mu\text{A}$  elektr. Strom) bestrahlt. Nach einer Abklingzeit von 2 h wurde das Hafnium chemisch abgetrennt und die erhaltene Probe mit zwei Ge(Li)-Detektoren gemessen. Dabei konnten von den neutronenarmen Kernen die Nuklide  $^{170,171,173}\text{Hf}$  und deren Folgeprodukte beobachtet werden. Wegen der geringen Aktivität war in diesem Experiment die Identifizierung neuer Isomere nicht möglich.

Bei Schwerionenreaktionen sollte es durch Multinukleonentransfer möglich sein, neutronenreiche Kerne jenseits des durch Kernspaltung zugänglichen Gebietes zu produzieren. Wir möchten dies an der Erzeugung neutronenreicher Pa- und Tl-Isotope bei der Bestrahlung dicker Uran- und Thorium- bzw. Blei-Targets mit Edelgasionen überprüfen.

Hierzu wurde zunächst ein Verfahren zur Abtrennung des Protactiniums von den übrigen Reaktionsprodukten ausgearbeitet. Nach dem Auflösen der bestrahlten Uran- bzw. Thorium-Targets in 9 n HCl (unter Zusatz von  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bzw. in 9 n HCl - 0,02 n HF wird das Pa mit Di-isobutylcarbinol extrahiert. Zur weiteren Reinigung wird mit 12 n HCl - 0,25 n HF rückextrahiert und ein zweiter Extraktionszyklus angeschlossen. Danach erfolgt die Mitfällung des Protactiniums an Eisenhydroxid. Mit der  $\gamma$ -spektroskopischen Untersuchung der erhaltenen Proben kann 5 Minuten nach Bestrahlungsende begonnen werden; die chemische Ausbeute liegt bei etwa 60 %.

In einem ersten Experiment wurden Uran- und Thorium-Targets mit 5,9 bzw. 6,8 MeV/amu  $^{86}\text{Kr}$  mit einer maximalen Intensität von  $10^{10}$  T/s bestrahlt. Nach der chemischen Abtrennung von Pa konnten bei Verwendung von Uran-Targets als neutronenreichste Nuklide  $^{236}\text{Pa}$  ( $T_{1/2} = 9,1$  min) und  $^{237}\text{Pa}$  ( $T_{1/2} = 8,7$  min) nachgewiesen werden. Bei der Bestrahlung von Thorium-Targets konnten diese Kerne nicht beobachtet werden; leichtere Pa-Isotope wurden ebenfalls nicht identifiziert, was durch die langen Halbwertszeiten dieser Nuklide und die damit verbundenen geringen Zerfallsraten bei Bestrahlungszeiten von 10 min erklärbar ist.



## Schnelle chemische Trennverfahren <sup>G</sup>

R. Heimann, A.K. Kaffrell, N. Kaffrell, U. Knitz, H. Menke, M. Schädel, K.-E. Seyb, E. Stender, T. Tamai,  
N. Trautmann, M. Weber

Institut für Kernchemie der Universität Mainz

### 1. Einleitung

Nachdem in den letzten Jahren für mehr als 20 Elemente schnelle chemische Trennverfahren ausgearbeitet worden sind, standen im Berichtszeitraum die methodischen Arbeiten im Vordergrund. Neben der Herstellung dünner Meßpräparate wurde die Entwicklung kontinuierlicher Trennmethoden durch Lösungsmittelextraktion und die Auftrennung komplizierter Elementgemische mit Hilfe der Hochdruckflüssigkeitschromatographie fortgesetzt.

### 2. Herstellung dünner Meßpräparate

Es wurden verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung geeigneter Präparate für  $\alpha$ - und Spontanspaltmessung untersucht und besonders Wert auf die schnelle Durchführbarkeit gelegt.

Mit Ionenaustauscherpapieren lassen sich Elemente mit einem hohen Verteilungskoeffizienten in wenigen Sekunden festhalten, doch sind die so anfallenden Proben wegen der Struktur der Papiere für  $\alpha$ -Spektroskopie ungeeignet. Sehr viel günstigere Präparate werden mit oberflächlich sulfonierten Polystyrolfolien anstelle der Kationenaustauscherpapiere oder beim Eindampfen wäßriger Lösungen unter Zusatz von Alkohol oder eines nichtionogenen Netzmittels erhalten.

Das Molekularplatingverfahren liefert Präparate, mit denen die angegebene Detektorauflösung fast erreicht wird. Diese Methode ist für eine ganze Anzahl von Elementen anwendbar, wobei die besten Ergebnisse mit Aceton, Isopropanol und Dimethylsulfoxid als Lösungsmittel erhalten wurden. Die maximalen Abscheidungsraten werden in der Regel bereits nach 2-4 min Elektrolysedauer erreicht<sup>2</sup>. Während die Aktiniden und Lanthaniden sich am besten aus Dimethylsulfoxid abscheiden lassen, werden die höchsten Raten für Cd, Te und Tc aus Isopropanol erzielt.

### 3. Kontinuierliche Trennmethoden

Gemeinsam mit Arbeitsgruppen aus Göteborg und Oslo wurde ein neues Zentrifugensystem (SISAK II) mit kleineren Zentrifugen aufgebaut und zur kontinuierlichen Abtrennung sehr neutronenreicher La-, Ce- und Pr-Isotope aus Spaltprodukten eingesetzt. Als schnelles Transportsystem für die Reaktionsprodukte dient ein Äthylen-Stickstoff-Jet. Die Abtrennung erfolgt durch Lösungsmittelextraktion mit Di-(2-äthylhexyl)-orthophosphorsäure (HDAHP)<sup>1</sup>.

Mit einer Zwei-Stufentrennung konnten dabei neben den bereits bekannten <sup>144-146</sup>La-Isotopen auch das <sup>147</sup>La mit einer Halbwertszeit von 2,2 s und das <sup>148</sup>La mit  $T_{1/2} \sim 1$  s nachgewiesen werden. Das Ce-Abtrennverfahren ermöglichte die Identifizierung von <sup>149</sup>Ce und <sup>150</sup>Ce mit Halbwertszeiten von 6 s bzw. 4 s.

Weiterhin wurde das neue Zentrifugensystem zur on-line Abtrennung des Technetiums, basierend auf der Extrahierbarkeit des Tetraphenylarsoniumkomplexes in Chloroform, eingesetzt.

Für die Kombination Gas-Jet-SISAK II mit 3 Zentrifugen wurde eine Verzögerungszeit von 4 s durch Pulsbestrahlungen am TRIGA Mainz ermittelt; daraus folgt, daß mit einem solchen System Nuklide mit Halbwertszeiten von wenigen Sekunden noch erfaßt werden können.

### 4. Hochdruckflüssigkeitschromatographie

Die Hochdruckflüssigkeitschromatographie wurde zur Auftrennung der Lanthaniden und zur Abtrennung der Lanthaniden von den Aktiniden herangezogen. Mit einem dreistufigen Gradienten der Elutionsmittelkonzentration lassen sich die Seltenen Erden sowohl an einer Kationenaustauschersäule als auch an einer HDÄHP-Säule innerhalb von 20 min vollständig trennen. Mit drei verschiedenen Elutionsmitteln können in derselben Zeit die Lanthaniden von den Aktiniden und den Erdalkalien getrennt werden.

Die Kopplung von Hochspannungselektrophorese<sup>3</sup> mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie bietet die Möglichkeit der schnellen Abtrennung einzelner Elemente der Lanthaniden aus komplexen Reaktionsproduktgemischen. Zur Untersuchung neutronenreicher Nd-Nuklide wurden 60 s nach Bestrahlungsende die Lanthaniden als Gruppe durch Elektrophorese von den übrigen Produkten abgetrennt und diese Fraktion an einer Kationenaustauschersäule mit  $\alpha$ -Hydroxiisobuttersäure im Hochdruckflüssigkeitschromatographen zerlegt. Bereits 3,5 min nach Bestrahlungsende konnte mit der Messung der Nd-Probe begonnen werden.

<sup>1</sup>P.O. Aronsson, G. Skarnemark, M. Skarestad, J. Inorg. Nucl. Chem. **36**, 1689 (1974)

<sup>2</sup>A.K. Bräutigam et al., GSI-Bericht J1-76, 33 (1976)

<sup>3</sup>T. Tamai, E. Ohyoshi, A. Ohyoshi, Y. Kiso, M. Shinagawa, J. Nucl. Sci. Technol. **13**, 219 (1967)

Ein chemisches Trennverfahren zur Untersuchung der Produktverteilungen  
bei der Bestrahlung von Au-Targets mit Xe-Ionen

M. Schädel, W. Bögl, W. Brüche, G. Franz, B. Haefner, J.V. Kratz, W. Schorstein, I. Warnecke, W. Weber, G. Wirth  
GSI Darmstadt

M. Weis

Institut für Kernchemie, Universität Mainz

Vor der off-line  $\gamma$ -spektrometrischen Untersuchung von Produktverteilungen aus Schwerionenreaktionen hat sich eine Auftrennung des sehr komplexen Produktgemischs in chemische Fraktionen einzelner Elemente und Fraktionen mit mehreren Elementen ähnlichen chemischen Verhaltens bewährt<sup>1</sup>. Es gelingt damit, die Komplexität der Spektren auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Dabei werden drei wesentliche Vorteile erzielt: a) die Empfindlichkeit wird gesteigert, b) die auf spektroskopischen Daten beruhende Zuordnung von  $\gamma$ -Aktivitäten wird durch eine zusätzliche Z-Zuordnung gestützt, und c) die Mitglieder der Betazerfalls-Ketten werden getrennt, was in vielen Fällen erlaubt, unabhängige Ausbeuten zu bestimmen.

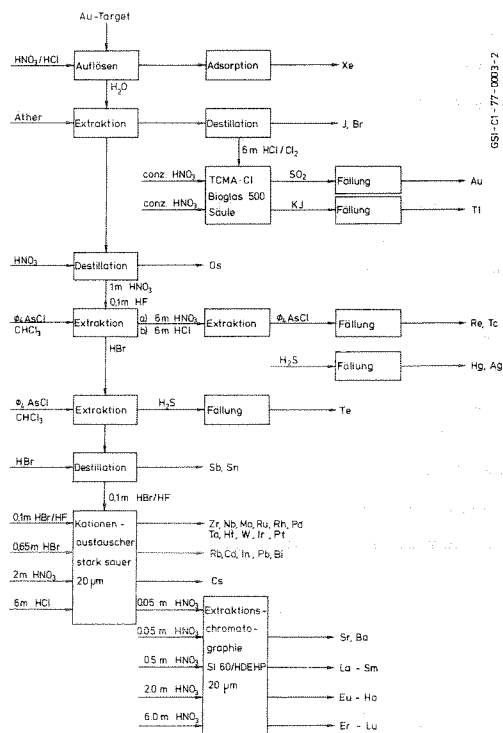
Zur Untersuchung der Reaktion  $Xe \rightarrow Au$  wurde ein zur Aufarbeitung von Uran-Targets entwickeltes Trennverfahren<sup>2</sup> so modifiziert, daß eine große Zahl von Einzelement-Fractionen um  $Z=54$  und  $Z=79$  entsteht.

Das durch Aufsprengen von Au-Folie ( $> 125 \text{ mg/cm}^2$ ) auf Kupfer hergestellte Target, in dem alle Reaktionsprodukte abgebremst werden, wird nach Bestrahlungsende dicht mit einer geschlossenen Glasapparatur verbunden. Die die maximale Reichweite der Reaktionsprodukte um 50 % übersteigende Au-Schicht wird durch Königswasser unter standardisierten Bedingungen abgelöst. Der Säure sind bekannte Mengen langlebiger radioaktiver Indikatoren und einige inaktive Trägersubstanzen beigemischt, mit deren Hilfe die chemischen Ausbeuten radiometrisch (Sb, Ce, Eu, Lu, Re, Os, Ir, Hg) bzw. gravimetrisch (Au, Tl, J) bestimmt werden. Als chemische Ausbeuten für andere Elemente werden Erfahrungswerte verwendet. Das Trennschema ist in der Abbildung skizziert. Nach dem Lösen werden zunächst einige Destillationen und Flüssig-Flüssig-Extraktionen nacheinander ausgeführt. Die dabei anfallenden Fraktionen werden zusätzlichen Reinigungsschritten unterworfen. Nach der letzten Destillation werden die im Rückstand verbliebenen Elemente auf eine Kationenaustauschersäule aufgebracht, die nach dem Prinzip der Hochdruck-Chromatographie bei  $\leq 30 \text{ atm}$  betrieben wird, wobei hier Elutionsgeschwindigkeiten von  $1 \text{ ml/min}$  verwendet werden. Die von dieser Säule eluierte Gruppe der Erdalkalien und Lanthaniden wird auf einer extraktionschromato-

graphischen Säule weiter aufgetrennt. Zwischen einzelnen Trennschritten ist es mehrfach erforderlich, das Volumen der anfallenden wässrigen Phasen einzuengen, was mittels eines dafür entwickelten schnellen Rotationsverdampfers ( $5 \text{ ml/min}$ ) erfolgt. Zur Herstellung von Meßpräparaten werden schwerlösliche Niederschläge (z.B.  $TlI$ ,  $BaSO_4$ ) abfiltriert, in anderen Fällen werden die Präparate durch Eindampfen der Lösungen auf Ta-Ronden hergestellt. Die 16 Meßpräparate werden über 4 Wochen zyklisch an drei absolut geeichten  $Ge(Li)$ -Dioden hoher Nachweiswahrscheinlichkeit gemessen. Die gesamte Trennung wird von 6-8 Mitarbeitern in ca. 5 Stunden durchgeführt. Mit dem beschriebenen Verfahren wurden aus einer bestrahlten Probe Bildungsquerschnitte für 140 Isotope mit  $35 \leq Z \leq 85$  bestimmt. Ähnliche Trennverfahren wurden für die Aufarbeitung von Urantargets ( $> 20$  chemische Fraktionen) entwickelt.

<sup>1</sup>J.V. Kratz, J.O. Liljenzin, A.E. Norris, G.T. Seaborg, Phys. Rev. **C13**, 2347 (1976).

<sup>2</sup>J.V. Kratz, J.O. Liljenzin, G.T. Seaborg, Inorg. Nucl. Chem. Letters **10**, 951 (1974).



Trennschema zur Aufarbeitung bestrahlter Au-Targets.