

## Uranisotopentrennung mit einem Gegenstromwirbelrohr

E. W. Becker, P. Bley und W. Ehrfeld

Institut für Kernverfahrenstechnik der Universität und des Kernforschungszentrums Karlsruhe

und

H. Lenné

Institut für Physikalische Chemie der Universität Kiel

Z. Naturforsch. **33a**, 1588–1589 (1978); eingegangen am 3. November 1978

### *Separation of Uranium Isotopes in a Countercurrent Vortex Tube*

Uranium isotope separation in countercurrent vortex tubes has been investigated experimentally using a mixture of uranium hexafluoride and a light auxiliary gas as the feed gas. A minimum value of 7000 kWh/SWU was obtained for the ideal specific energy consumption which is higher by a factor of 2.7 than the corresponding value of the separation nozzle. Further specific expenditures for this type of vortex tube, e.g. the suction volume and the length of separator required per unit separative work have been found to be also unfavorably high in view of a commercial application.

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurde das Trenndüsenverfahren zur Anreicherung von Uran 235 entwickelt [1]. Es beruht auf der massen-abhängigen Zentrifugalkraft in einer schnellen, auf gekrümmten Bahnen laufenden Strömung aus UF<sub>6</sub> und einem leichten Zusatzgas. Das Verfahren findet eine erste technische Anwendung im Rahmen der deutsch/brasilianischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergieerzeugung [2].

Vor einiger Zeit wurde bekannt, daß in der Südafrikanischen Union ein ebenfalls auf gasdynamischen Prinzipien und auf der Verwendung eines leichten Zusatzgases beruhender Uranisotopen-trennprozeß entwickelt worden ist. In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung [3] wird er als „Advanced Vortex Tube Process“ bezeichnet, ohne daß Einzelheiten über Aufbau und Funktion des Trennelements angegeben werden.

Die wirtschaftlichen Aussichten des in Abb. 1a dargestellten „Gleichstromwirbelrohrs“ für die Uranisotopentrennung wurden im Institut für Kernverfahrenstechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe schon 1964 unter Verwendung von He als leichtem Zusatzgas in einigen Meß-

Sonderdruckanforderungen an das Institut für Kernverfahrenstechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe.

reihen untersucht [4]. Da das Ergebnis nicht sehr erfolgversprechend war, wurden die entsprechenden Arbeiten jedoch eingestellt.

Am Institut für Physikalische Chemie der Universität Kiel wurden in Zusammenarbeit mit M.A.N., München, neuerdings Untersuchungen an dem in Abb. 1b schematisch dargestellten „Gegenstromwirbelrohr“, das auch „Wirbeldüse“ genannt wird [5], mit He/UF<sub>6</sub>-Gemischen durchgeführt. Nach Abschluß der Voruntersuchungen in Kiel wurden in Karlsruhe an vier vom Kieler Institut zur Verfügung gestellten Anordnungen mit verschiedenen Kombinationen der geometrischen Parameter unter Verwendung von H<sub>2</sub>/UF<sub>6</sub>- und He/UF<sub>6</sub>-Gemischen die für den spezifischen Energieverbrauch und die spezifische Investierung optimalen Betriebsbedingungen ermittelt. Für die Versuche wurden die für das Trenndüsenverfahren ent-

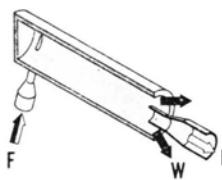


Abb. 1a.  
Gleichstromwirbelrohr.

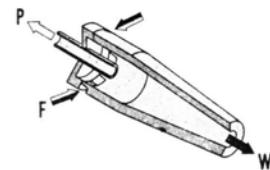


Abb. 1b.  
Gegenstromwirbelrohr.  
F = Feed (Eingangsgasmisch), P = Product (leichte Fraktion) und W = Waste (schwere Fraktion).

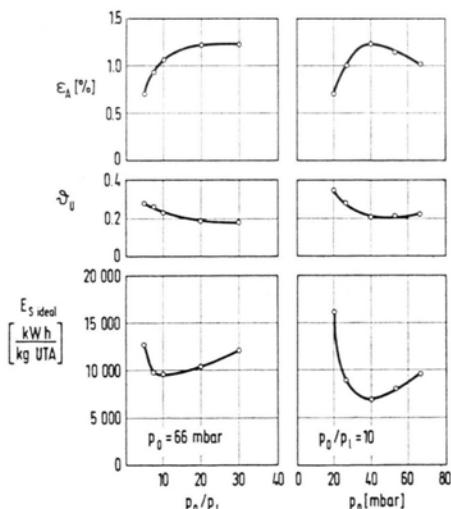


Abb. 2. Einfluß des Expansionsverhältnisses  $p_0/p_1$  der leichten Fraktion und des Gemischeinlaßdrucks  $p_0$  auf den Elementareffekt der Isotopen trennung  $\epsilon_A$ , das UF<sub>6</sub>-Abschälverhältnis  $\theta_u$  und den idealen spezifischen Energieverbrauch  $E_{s,ideal}$ . Wirbelrohr D, UF<sub>6</sub>/H<sub>2</sub>-Gemisch mit 7,8 Mol-% UF<sub>6</sub>, gleiche Absaugdrücke für leichte und schwere Fraktion.

Tabelle 1. Betriebsbedingungen und spezifische Aufwandsgrößen der Wirbelrohre C und D sowie der Trenndüse im Betriebspunkt minimalen spezifischen Energieverbrauchs. ( $N_0$  = UF<sub>6</sub>-Konzentration in H<sub>2</sub>,  $p_0$  = Gemischeinlaßdruck,  $p_0/p_1$  = Expansionsverhältnis,  $\varepsilon_A$  = Elementareffekt der Isotopentrennung,  $\vartheta_u$  = UF<sub>6</sub>-Abschälverhältnis,  $E_{s,ideal}$  = idealer spezifischer Energieverbrauch, berechnet mit der isothermen Kompressionsarbeit,  $L_s$  = spezifische Schlitzlänge bzw. spezifische Trennraumlänge,  $V_s$  = spezifisches Ansaugvolumen).

| Element      | $N_0$<br>[Mol-% UF <sub>6</sub> ] | $p_0$<br>[mbar] | $p_0/p_1$ | $\varepsilon_A \cdot 10^2$ | $\vartheta_u$ | $E_{s,ideal}$<br>[kWh/kg UTA] | $L_s$<br>[m/(kg UTA/a)] | $V_s$<br>[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /kg UTA] |
|--------------|-----------------------------------|-----------------|-----------|----------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|
| Wirbelrohr C | 7,8                               | 266             | 17,9      | 1,193                      | 0,21          | 9 500                         | 8,3                     | 8,0                                               |
| Wirbelrohr D | 7,8                               | 40              | 9,9       | 1,234                      | 0,21          | 7 050                         | 23,9                    | 27,5                                              |
| Trenndüse    | 4,2                               | 220             | 2,1       | 1,48                       | 0,25          | 2 600                         | 2,4                     | 1,2                                               |

wickelten automatisierten Versuchseinrichtungen verwendet [6]. Die beiden zu den günstigsten spezifischen Aufwandsgrößen führenden Systeme (C und D), über die im folgenden berichtet wird, hatten Trennraumlängen von 11 und 16 mm bei mittleren Trennraumdurchmessern von 1,56 bzw. 2,25 mm. Das Gasgemisch wurde durch jeweils 6 tangentielle Bohrungen zugeführt.

Als Beispiele für die Versuchsergebnisse sind in Abb. 2 die Abhängigkeiten des Elementareffektes der Isotopentrennung  $\varepsilon_A$ , des Uranabschälverhältnisses  $\vartheta_u$  und der idealen isothermen Kompressionsarbeit  $E_{s,ideal}$  vom Gemischeinlaßdruck  $p_0$  und vom Expansionsverhältnis  $p_0/p_1$  der leichten Fraktion für das System D aufgetragen. Die Größen sind wie in unseren Trenndüsenerbeiten [1] definiert.

Der aus Abb. 2 zu entnehmende Minimalwert  $E_{s,ideal} = 7050$  kWh/kg UTA ist der kleinste von uns bei insgesamt 130 Versuchen mit Gegenstrom-wirbelrohren unter den verschiedensten Bedingungen beobachtete Wert. Wie aus der Gegenüber-

stellung in Tab. 1 hervorgeht, liegt er um etwa den Faktor 2,7 über dem derzeitigen Minimalwert des Trenndüsensverfahrens.

Nach Tab. 1 sind auch die korrespondierenden Werte der spezifischen Trennraumlänge und des spezifischen Ansaugvolumens, die Hinweise auf die spezifischen Investierungskosten geben, wesentlich höher als beim Trenndüsensverfahren. Nach dem Ähnlichkeitsgesetz der Gaskinetik kann beim Wirbelrohr, wie bei der Trenndüse, mit einer linearen Verkleinerung des spezifischen Ansaugvolumens bei Verkleinerung der charakteristischen Abmessungen gerechnet werden. Bei dem bezüglich des spezifischen Ansaugvolumens günstigeren System C müßten die Abmessungen um den Faktor 6,6 verkleinert werden, um das spezifische Ansaugvolumen des Trenndüsensverfahrens zu erreichen. Die absolute Trennraumlänge des Systems würde dann nur noch 1,7 mm betragen, während die spezifische Trennraumlänge und der spezifische Energieverbrauch in erster Näherung unverändert blieben.

- [1] E. W. Becker, W. Bier, W. Ehrfeld, K. Schubert, R. Schütte u. D. Seidel, Physics and Technology of Separation Nozzle Process. Proceedings of the Paris Conference, Progress in Nuclear Energy Series, Pergamon Press, Oxford 1976.
- [2] E. W. Becker, C. Syllus Martins Pinto u. H. Völcker, Winter Meeting of the American Nuclear Society, San Francisco, Dec. 1, 1977.
- [3] A. J. A. Roux, W. L. Grant, R. A. Barbour, R. S. Loubser u. J. J. Wannenburg. IAEA Internat. Conf. on Nucl. Power and its Fuel Cycle, Salzburg 2.—13. Mai 1977, Paper No. IAEA-CN-36/300.
- [4] Vergleiche Hinweis in C. U. Linderstrom-Lang, Riso Rep. No. 248, Danish Atomic Energy Comm. Res. Est. Riso, 1971, p. 95.
- [5] W. Fuhsse, D. P. Offenlegungsschrift 2 505 864 vom 14. 10. 1976 (Anmeldung 12. 02. 1975).
- [6] P. Bley, W. Ehrfeld, F. M. Jäger u. U. Knapp, KFK 2092 (1976). Reaktortagung, Nürnberg, 8.—11. April 1975, Deutsches Atomforum e.V., Kerntechnische Gesellschaft.