

„Für das Nachhaltigkeitsprinzip im nuklearen Brennstoffkreislauf“

Partitionierung und Transmutation bieten so gute Perspektiven, nukleare Abfälle zu verringern, dass es jetzt weiterer Forschung mit einer Versuchsanlage bedarf, findet Alex Mueller.

◆ Viele wissenschaftlich-technisch berechnete Argumente sprechen für sicher ausgelegte Endlager. Dennoch stoßen sie bei der Mehrheit der Bevölkerung auf Ablehnung. Das Gefahrenpotenzial langlebiger (bis zu 1 Million Jahre) Abfälle durch Leckage in die Umwelt scheint nicht tragbar. Dies gilt besonders für die minoren Actinoide, langlebig und hoch radioaktiv, trotz günstiger (das heißt schlechter) Diffusionsbedingungen im typischen Wirtsgestein. Auch ist der dimensionierende Faktor für die Endlagerauslegung die Wärmeentwicklung durch den radioaktiven Zerfall. Langfristig wird diese vom Zerfall der Actinoide dominiert.

Partitionierung und Transmutation (P&T) zielt darauf, diese Probleme zu entschärfen. Die Trennung der radiotoxischen Komponenten aus dem abgebrannten Brennstoff mit separativer Chemie (Partitionierung) erlaubt nachfolgend Recycling in einem Reaktor (Transmutation) durch geeignete Kernreaktionen in nicht oder weniger toxische Spezies.

In der Tat ermittelte die von mehreren europäischen Forschungszentren gemeinsam getragene Euratom-Studie Pateros¹⁾ einen typischen Re-

duktionsfaktor von einer Größenordnung für minore Actinoide. Im Prinzip, also aus physikalisch-technischer Sicht, so lauten die Schlussfolgerungen von Pateros, käme man bei einer nationenübergreifenden Zusammenarbeit in Europa mit wenigen Endlagern für hochradioaktive langlebige Abfälle aus.

P&T würde so das Nachhaltigkeitsprinzip in den nuklearen Brennstoffkreislauf einführen. Gleichzeitig entstünde nutzbare Energie; die Schadstoffvernichtung könnte sich so selbst finanzieren.

Ziel von P&T sind in erster Linie die Elemente mit einer Ordnungszahl oberhalb von Uran wie Np, Pu, Am, Cm, die im Neutronenfluss eines klassischen, elektrizitätserzeugenden Leichtwasserreaktors aus ²³⁸U entstehen. Die Transmutation findet hingegen in einem schnellen Neutronenspektrum statt, welches die minoren Actinoide in kurzlebige Spaltprodukte verwandelt. Prinzipiell ist es möglich, selbst langlebige Isotope der Spaltprodukte (insbesondere der Elemente Technetium und Iod) im abgebrannten Brennstoff umzuwandeln. Hier besteht allerdings noch größerer Forschungsbedarf.

Für das schnelle Neutronenspektrum der Transmutationsreaktoren gibt es grundsätzlich zwei alternative Verfahren. Sowohl kritische, nicht moderierte Reaktoren als auch unterkritische Reaktoren erlauben die Transmutation. In Letzteren werden die fehlenden Neutronen durch eine mit einem Protonenbeschleuniger betriebene Spal-

lations-Neutronenquelle²⁾ ersetzt, man spricht hier von ADS (Accelerator Driven Systems).

In der Debatte um die besten Szenarien für Sicherheit und Ökonomie bin ich Anhänger des Double-strata-deployments. Hier sichern künftige, kritische, schnelle Reaktoren langfristig die Energieerzeugung. Sie verbrennen durch Transmutation in situ ihren eigenen Müll und bieten die Chance, das gesamte ²³⁸U energetisch zu nutzen. Es käme also für Jahrtausende zu keiner Rohstoffverknappung. Aus Sicherheitsgründen ließen sich allerdings dabei nur minimale Mengen der minoren Actinoide der heutigen Leichtwasserreaktoren mittransmutieren. Außer für den bereits verglasten „Müll“ ist ADS hier die relevante Lösung.

Insbesondere Länder, die kurzfristig auf Kernenergie verzichten wollen, sollten sich daher für Transmutationsforschung interessieren. Belgien plant mit Myrrha²⁾ ein erstes ADS als internationalen Demonstrator mit Standort in Mol. Die Forschungen mit Myrrha werden das Design eines späteren industriellen ADS ermöglichen. Der besondere Blick liegt auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit, denn letztendlich sind Transmutation und reine Endlagerung global auf dieser Ebene zu vergleichen.

1) E. Gonzales Romero, P&T Rationale and added value for HLW management, deliverable of the European Contract Pateros, www.sckcen.be/pateros.

2) Siehe zum Beispiel: A. C. Mueller, H. A. Abderrahim, Phys. J. 2010, 9, 33 und dort zitierte Literatur.

Alex C. Mueller ist Forschungsdirektor am französischen CNRS. Er forscht seit 35 Jahren in den Gebieten Kern- und Beschleunigerphysik und ist Mitentdecker von fast hundert neuen Isotopen und deren Eigenschaften. Er koordinierte die Beiträge seines Instituts zum Bau neuer Beschleuniger (darunter LHC und FAIR) und zu gemeinsamen europäischen Projekten wie Eurons, Eurotrans. Mueller ist Mitglied zahlreicher internationaler Gremien.



mueller@ipno.in2p3.fr

„Transmutation kann Endlager nicht ersetzen“

Partitionierung und Transmutation sind kein Allheilmittel für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, warnt Horst Geckeis.

◆ Techniken, die Volumen und Toxizität von Abfällen verringern, sind grundsätzlich zu begrüßen. Dies gilt auch für die Partitionierung und Transmutation (P&T), ein Verfahren, das langlebige Transuranelemente (Np, Pu, Am, Cm) aus abgebranntem Kernbrennstoff abtrennt und in kurzlebige oder stabile Spaltprodukte umwandelt.¹⁾ Insbesondere Staaten wie Frankreich, England, Indien, China oder Russland, die weiterhin auf Kernenergie setzen, könnten so den Anteil der Abfallbestandteile signifikant reduzieren, die für lange Zeit die Radiotoxizität und Wärmeentwicklung dominieren. In Kombination mit Anlagen, die Uran und Plutonium zur weiteren Energieerzeugung rezyklieren, verringern sich darüber hinaus die Abfallmengen bezogen auf die erzeugte Strommenge deutlich. Studien zeigen, dass dennoch ein – wenn auch kleineres – geologisches Tiefenlager zur Endlagerung verbleibender hochradioaktiver Abfälle nötig sein wird.²⁾ Transmutation kann ein Endlager keineswegs ersetzen.

Im Kernenergie-Aussteigerland Deutschland ist die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff und damit auch P&T gesetzlich verboten. Voraussetzung wäre also eine Änderung des Atomgesetzes. Es ist allerdings zu bezweifeln, ob unter den gegenwärtigen Randbedingungen der Neubau kerntechnischer Anlagen und ihr Betrieb für mehrere Jahrzehnte politische Mehrheiten und die Akzeptanz der deutschen Bevölkerung finden werden.³⁾

Hierzulande liegen bereits verglaste hochradioaktive Abfälle vor, die langlebige Actinoide enthalten und die sich nach derzeitigem Kenntnisstand nicht transmutieren lassen. Zudem würden Sekundärabfälle aus P&T-Anlagen die in Deutschland vorhandene Menge an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung um zirka ein Drittel erhöhen.³⁾ Für beide Abfallarten müssen entsprechende Endlager bereitgestellt werden. Generell werden Transuranelemente in Sicherheitsanalysen für Endlager als recht immobil eingeschätzt. Ihre Löslichkeit in Grundwasser ist meist gering und ihre Rückhaltung im Endlager durch Sorption an Oberflächen beträchtlich. Als relevanter für die Langzeitsicherheit eines Endlagers gelten allerdings mobile langlebige Aktivierungs- und Spaltprodukte, deren Gesamtmenge die Transmutation jedoch eher erhöht.³⁾

Eine Studie der deutschen Akademie der Technikwissenschaften kommt denn auch zum Schluss, dass es wenig ratsam ist, in Deutschland im Alleingang P&T-Anlagen zu bauen und zu betreiben.³⁾ Entsprechende Lösungen im Rahmen internationaler Kooperationen sind allerdings nur dann sinnvoll, wenn sie mehrheitlich politische und gesellschaftliche Unterstützung finden. An Akzeptanz mangelt es bekanntermaßen auch für die tiefengeologische Endlagerung, obgleich sie nahezu alle nationalen und internationalen Fachorganisationen als die sicherste Art

erachten, chemo- und radiotoxische Reststoffe von der Biosphäre fernzuhalten.⁴⁾ Bemerkenswert ist, dass die Lagerung in Untertagedeponien in Deutschland für die Entsorgung chemotoxischer Stoffe, etwa von Schwermetallen, unbestritten ist. Die Ängste vor der Endlagerung radioaktiver Abfälle, deren Bestandteile anders als chemotoxische Stoffe – wenn auch langsam – zerfallen, scheinen jedoch nur schwer überwindbar.

Diskutieren und Nichtstun sind dennoch keine Optionen – wir werden uns für einen Entsorgungsweg entscheiden müssen.

- 1) K. Gompper, A. Geist, H. Geckeis, *Nachr. Chem.* 2010, 58, 1015.
- 2) Potential Benefits and Impacts of Advanced Fuel Cycles with Actinide Partitioning and Transmutation (WPFC/TFPT), *OECD 2011, NEA No. 6894*.
- 3) Partitionierung und Transmutation: Forschung – Entwicklung – Gesellschaftliche Implikationen [Hrsg.: Ortwin Renn], *Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, www.acatech.de*.
- 4) *International Atomic Energy Agency (IAEA), OECD-Nuclear Energy Agency: Geological Disposal of Radioactive Waste. – Safety Requirements WS-R-4, Vienna, 2006.*

Horst Geckeis promovierte im Jahr 1989 in Saarbrücken. Seit 2008 bekleidet er eine Professur für Radiochemie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er leitet zugleich das Institut für Nukleare Entsorgung am KIT und ist seit 2011 Vorsitzender der GDCh-Fachgruppe Nuklearchemie. horst.geckeis@kit.edu



Die Rubrik „Pro und Contra“ wird von der GDCh-Sektion Seniorexperten Chemie betreut. **Jörn Müller** koordiniert die Beiträge.