

der Veranstaltung teilnehmen. Auch bei weiteren Sitzungen mit Bürgern, wie etwa in den Präfekturen Tokyo, Osaka und Hyogo soll es Einflussnahmen gegeben haben. Dort wurden durch Versprechung der Unterstützung von Jugendaktivitäten angeblich insgesamt 27 Personen angeworben.

Trotz der fragwürdigen Umstände, unter denen bisherige Bürgertreffen abliefen, wurden

weitere Informationsveranstaltungen zur Auswahl von Lagerstätten für hochgradig belasteten Atommüll durchgeführt.

Eine Marketing-Agentur, die mit der Werbung beauftragt worden war, hatte insbesondere Schüler durch Belohnungen zur Teilnahme an den Veranstaltungen motiviert. Daraus ergab sich der Verdacht der „Meinungsmache“. Der Präsi-

dent der NUMO, Shunsuke Kondo, entschuldigte sich jetzt und bedauerte, dass auf diese Weise das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Kernkraft Schaden genommen habe.

Der japanischen Nachrichtenagentur jiji zufolge werden dem Präsidenten und Vize-Präsidenten als disziplinarische Maßnahme für zwei Monate zehn Prozent der Bezüge gestrichen. Zuvor hatte die

NUMO die Verantwortung dem beauftragten Marketing-Unternehmen zugeschoben. Die Untersuchungskommission war jedoch zu dem Schluss gelangt, dass die finanziellen Anreize für die Teilnahme an den Veranstaltungen der NUMO mit hoher Wahrscheinlichkeit bekannt gewesen sein müssen.

Atommüll

Transmutation, ein Weg aus der Atommüllfalle ?

Von Dr. Rainer Moormann, Aachen¹

Unter Transmutation versteht man Nuklidumwandlungen mit Hilfe von freien Neutronen. Der Begriff wurde aus der Sprache der Alchemisten entlehnt, die mit chemischen Methoden Gold aus Quecksilber machen wollten. Transmutation von langlebigem kern-technischen Abfall in kurzlebige oder sogar stabile Nuklide soll das offensichtlich gravierende Entsorgungsproblem der Nukleartechnik entschärfen. Wie die Chancen dazu stehen, soll hier auf wissenschaftlicher Basis untersucht werden.

Historie

Die Idee zur Transmutation nuklearer Abfälle entstammt den 1950er Jahren. Die ersten detaillierten Veröffentlichungen gab es in den 1960er Jahren und die erste internationale Konferenz zur Transmutation fand 1977 am Gardasee statt, ein Zeichen dafür, dass sich schon viele Kerntechniker mit Transmutation befassten. Einen schweren Rückschlag gab es 1999: Der US-Kongress lehnte die Finanzierung eines Transmutations-grossprojektes ab; mit einer Zeitdauer von 100 Jahren, Kosten von 300 Milliarden US-Dollar und aufgrund der

Tatsache, dass es nur eine Müllreduktion gäbe, aber ein Endlager weiterhin erforderlich wäre, sei Transmutation nicht effizient genug. In der EU sowie in Russland wurde zwar weiter an Transmutation gearbeitet, aber auch dort befindet sich die Transmutationsentwicklung tendenziell im Niedergang: Die Finanzierung der kleinen Transmutations-testanlage Myrrha im Belgischen Mol gelingt seit 10 Jahren nicht, obwohl die belgische Regierung 40 Prozent der Kosten von gut 1 Milliarde Euro übernimmt. Daraus darf man folgern, dass dieses Projekt weithin nicht als erfolgversprechend eingeschätzt wird. Der Umfang der EU-Förderung zur Transmutation wurde verringert. Aktuell verweisen Transmutationsbefürworter auf in Betrieb gehende russische schnelle Reaktoren (BN-800); konkret verbrennt dieser Reaktortyp überschüssiges Waffenplutonium (überwiegend Pu-239), also einen herkömmlichen Kernbrennstoff, und keinen Atommüll. Ob vage und riskante Pläne umgesetzt werden, später mit diesen Reaktoren auch die Reduktion der Atommüllmenge zu demonstrieren, bleibt abzuwarten.

Fachlicher Hintergrund

Bei langlebigen Nukliden im Müll sind die folgenden beiden Gruppen zu unterscheiden:

A) Langlebige Spaltprodukte (Se-79, Zr-93, Tc-99, Pd-107, Sn-126, I-129, Cs-135) zusammen mit langlebigen Produkten aus Aktivierungsreaktionen an Elementen niedriger Masse (C-14, Cl-36 ...). Die Halbwertszeiten reichen von 5730 Jahre (C-14) bis 15,7 Millionen Jahre (I-129). Es handelt sich um Beta- und Gamma-Strahler. Einige Nuklide dieser Gruppe sind bei Wassereinbruch in ein geologisches Endlager hochmobil, das heißt sie könnten in die Biosphäre gelangen. [1] In 1 Tonne abgebranntem Druckwasserreaktor(DWR)-Brennstoff sind etwa 2 Kilogramm an langlebigen Spaltprodukten vorhanden. Ein klassischer Leichtwasserreaktor (LWR, 1,2 Gigawatt elektrischer Leistung) erzeugt etwa 32 Tonnen abgebrannten Kernbrennstoff pro Jahr. [2]

B) Langlebige Aktinoide, die durch Aktivierungsprozesse am Kernbrennstoff entstehen: Das sind die sogenannten Minoren Aktinoide (MA) Am-241, Am-243, Cm-245, Np-237 sowie das Reaktorplutonium Pu-239, Pu-240, Pu-242. Letzteres, das prinzipiell als MOX-Brennstoff in Standardreaktoren eingesetzt werden kann, wird erst seit gut 10 Jahren überwiegend als separat zu transmutierender Abfall angesehen. Für die im Abfall vorkommenden MA plus Pluto-

nium wird häufig die Bezeichnung TRU (Transurane) verwendet. Diese Aktinoide sind Alpha-Strahler, also inkorporiert hoch toxisch. Aus Sicherheitsicht von Vorteil ist, dass diese Aktinoide im Endlager auch bei Wassereintritt kaum mobil sind, das heißt zerfallen wären, bevor sie die Biosphäre erreichten. [1] Die Halbwertszeiten liegen zwischen einigen hundert und 2 Millionen Jahren. Diese Aktinoide sind zwar prinzipiell spaltbar, aber (Ausnahme Pu-239) bei weitem nicht so leicht wie die klassischen Kernbrennstoffe und reichern sich deshalb in herkömmlichen Atomkraftwerken an. In 1 Tonne abgebranntem DWR-Brennstoff sind 1,4 Kilogramm MA und 2,7 Kilogramm Pu-240+Pu-242 sowie 7 Kilogramm des leicht spaltbaren Pu-239 enthalten. [2]

Freie Neutronen können auf drei unterschiedliche Weisen Kernumwandlungen im Atommüll hervorrufen:

1. Spaltung:

Während sich die klassische Kernspaltung in Atomkraftwerken auf sehr wenige Nuklide beschränkt (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241), lassen sich, vor allem mit schnellen Neutronen, mit einigem Aufwand auch die anderen Aktinoide spalten. Die Nuklide der Gruppe A) sind demgegenüber nicht spaltbar.

2. Spallation:

Unter Spallation versteht man die Kernzertrümmerung durch sehr hochenergetische Protonen oder Neutronen, ein Pro-

¹ r.moormann@gmx.de

zess, der anders als die Spaltung keine Energie liefert, sondern viel Energie verbraucht. Auf Abfall der Gruppe A) ist Spallation nicht effizient anwendbar, wohl aber auf alle Nuklide mit hoher Massenzahl.

Es ist zu beachten, dass Spaltung und Spallation die Radioaktivität keinesfalls beseitigen. Wie am Beispiel der Uranspaltung (Halbwertszeit U-235: 700 Millionen Jahre) ersichtlich, wird – für einen kürzeren Zeitraum eine sehr große und daher gefährliche Aktivitätssteigerung verursacht. Spaltung und Spallation liefern nämlich ein breites Spektrum an radioaktiven (kurz- und langlebigen) und stabilen Produkten; demgegenüber verläuft der Einfang von Neutronen spezifischer:

3. Neutroneneinfang:

Unter Neutroneneinfang fasst man verschiedene Reaktionen zusammen, zum Beispiel die (n,p)-Reaktion, bei der ein Neutron aufgenommen, und ein Proton abgegeben wird (in der Atmosphäre wird so radioaktiver C-14 aus stabilem N-14 gebildet), oder den schlichten Einfang, bei dem das Neutron im Nuklid verbleibt und sich die Massenzahl um eine Einheit erhöht (Beispiel: Im Atomkraftwerk wird aus dem stabilen Spaltprodukt Cs-133 radioaktives Cs-134 gebildet). Manche langlebigen radioaktiven Nuklide lassen sich so in kurzlebige oder stabile überführen. Die Reaktionswahrscheinlichkeit ist für jedes Nuklid unterschiedlich, und einige Nuklide lassen sich so praktisch nicht umwandeln. Neutroneneinfang ist die einzige anerkannte Methode, mit der die Nuklide der Gruppe A) transmutiert werden können.

Probleme

Ein erstes Problem der Transmutation besteht darin, dass man sehr starke Neutronenquellen braucht, wenn man Spallation oder Neutroneneinfang anwenden will. Solche Neutronenquellen konnten bis-

her trotz großer Bemühungen nicht entwickelt werden. Das Fehlen effizienter Neutronenquellen hat seit dem Jahr 2000 daher dazu geführt, dass die Bemühungen um Transmutation sich auf die TRU-Spaltung konzentrieren; das wäre erheblich leichter realisierbar, weil bei deren Spaltung Neutronen erzeugt werden und wäre ggf. schon in schnellen Reaktoren² möglich. Allerdings könnte ein solcher Reaktor nur betrieben werden, wenn zugleich ausreichende Mengen an leicht spaltbaren klassischen Spaltstoffen im Kern vorhanden sind. Aus diesem Grund sehen heutige Konzepte häufig keine separate Behandlung von Reaktorplutonium (mit seinem hohen Anteil an leicht spaltbarem Pu-239) und MA mehr vor. Solche Systeme aus schwer spaltbaren Aktinoiden und klassischen Spaltstoffen stellen allerdings hinsichtlich Kritikalitätssicherheit besondere Herausforderungen dar. Nur wenn ausreichend Neutronen von außen zugeführt würden (s. unten), ließe sich allein aus TRU-Abfall ein brauchbarer Reaktorkern aufbauen. Eine Beseitigung der Nuklide der Gruppe A) wäre in schnellen Reaktoren mit ihren höheren Neutronenflüssen durch Neutroneneinfang nicht sinnvoll möglich, selbst wenn man die Neutronen thermalisiert (abremst): Zur Mengenreduktion auf ein Zwanzigstel benötigen einige langlebige Spaltprodukte eine Bestrahlung in schnellen Reaktoren von weit mehr als einem Jahrhundert [3], was offensichtlich ineffizient wäre, da dabei ständig neuer Müll erzeugt würde.

Da Spallationsreaktionen an schweren Elementen hohe Neutronenflüsse liefern, wird seit circa 30 Jahren an Spallationsquellen zur Transmutati-

on gearbeitet (Accelerator Driven Systems, ADS). In neueren Konzepten wird ein Protonenstrahl auf extrem hohe Energien beschleunigt (mehr als 1 Gigaelektronenvolt), und auf ein sogenanntes Target geschossen (Blei/Wismut, Wolfram, Quecksilber). Die dabei durch Primärspallation freigesetzten Neutronen sollen durch Sekundärspallation und Spaltung Aktinoide, die um das Target angeordnet werden, umwandeln. Man hofft, das energetisch ausgeglichen ablaufen lassen zu können, da die Aktinoidmenge im System zwar unterkritisch bleiben soll (k_{eff} circa 0,9 bis 0,95), zusammen mit den eingespeisten Spallationsneutronen aber eine konstant ablaufende Kettenreaktion hervorruft. Dann ergäbe sich ein sogenannter unterkritischer Reaktor (Rubbia-Reaktor), aus dem Wärme zur Stromerzeugung ausgekoppelt werden kann. Ob die Stromerzeugung ausreicht, um den hohen Verbrauch des Protonenbeschleunigers abzudecken, ist strittig. ADS-Anlagen sind deutlich unempfindlicher gegen Kritikalitätsstörfälle als schnelle Reaktoren mit TRU-Beladung. Für MA werden selbst in ADS nur Umsatzraten von 10 Prozent pro Jahr als aktuell erreichbar angesehen.

Würden die Spallationsneutronenflüsse in großen Spallationsquellen thermalisiert, ließen sich langlebige Spaltprodukte zwar schneller transmutieren als in Reaktoren; solche Umwandlungen wären aber aus energetischer Sicht sehr ineffizient. Hinreichend große Beschleuniger, wie sie für großtechnische Anlagen notwendig wären, sind ohnehin noch nicht verfügbar. Problematisch ist auch, dass die Spallationsreaktionen in einem nichtradioaktiven Target große Mengen radioaktiver Nuklide erzeugen – und zwar größtenteils solche, die bei der klassischen Spaltung nicht entstehen, und über die daher zum Teil wenig bekannt ist.

Die schon erwähnte kleine ADS-Anlage Myrrha mit einem Blei/Wismut-Target etwa würde in erheblichem Umfang das Ultragriff Polonium-210 generieren (welches 2006 beim Mord am russischen Dissidenten Litvinenko in London zum Einsatz kam; es ist circa 1 Million mal giftiger als Kaliumcyanid); es hat zwar nur eine Halbwertszeit von 128 Tagen, wäre aber bei Störfällen sehr problematisch. Sicherheit und Entsorgung solcher Targets bedeuten also eine ganz neue, weitgehend ungelöste Herausforderung. [4]

Ein weiteres Problem der Transmutation besteht darin, dass die Kernumwandlung keineswegs aufhört, wenn ein kurzlebige oder stabiles Produkt erreicht ist. Als Beispiel sei nochmals auf die Umwandlung von stabilem Cs-133 in radioaktives Cs-134 (2 Jahre Halbwertszeit) eingegangen: Bei längerer Bestrahlung wird dieses Cs-134 nämlich in langlebige Cs-135 überführt (2 Millionen Jahre Halbwertszeit). Es kommt also darauf an, vor und während der Transmutation ständig die erwünschten stabilen oder kurzlebigen Produkte abzutrennen, um eine weitere Umwandlung in unerwünschte Produkte zu verhindern. Bei diesem Aufarbeitungsprozess (Partitioning genannt) handelt es sich um eine viel komplexere und vermutlich noch umweltschädigendere Maßnahme als bei der klassischen Wiederaufarbeitung. Dieses sicherheitstechnisch problematische Partitioning ist während der Transmutation circa 5 bis 10-mal zu wiederholen. Ein gewisser Vorteil des Partitioning läge darin, dass es das endzulagernde Volumen reduzieren könnte (das heißt das Endlager könnte kleiner werden). Das Partitioning ist allerdings bisher in vielen Bereichen über den Labormaßstab nicht hinausgekommen. Eine Kombination von Transmutation und Partitioning sollen in der Planung befindliche

² Klassische Reaktoren (LWR) sind thermische Reaktoren, da sie mit gebremsten, also langsamen (thermischen) Neutronen arbeiten. Schnelle Reaktoren spalten mit ungebremsten Neutronen.

Flüssigsalzreaktoren mit Online-Wiederaufarbeitung bereitstellen können; wegen ihres hohen Proliferationsrisikos stehen sie in der Kritik.

Fazit

Mittelfristig technisch machbar erscheint nur eine Transmutation von TRU in schnellen Reaktoren. Zusammen mit dem notwendigen, aber noch nicht vollständig entwickelten Partitioning & Transmutation erscheint es daher mehr als fraglich, dass damit eine Verbesserung bei der nuklearen Entsorgung erzielt werden kann. Es ist vielmehr zu befürchten, dass der Einstieg in

eine deutliche Verminderung des Risikos des Endlagers: Letzteres wird ja von den leicht beweglichen Nukliden niedriger Masse bestimmt und nicht von den zwar hochtoxischen, aber immobilen TRU. Auch wegen der erheblichen Umweltauswirkungen und wegen des Sicherheitsrisikos von Partitioning & Transmutation erscheint es daher mehr als fraglich, dass damit eine Verbesserung bei der nuklearen Entsorgung erzielt werden kann. Es ist vielmehr zu befürchten, dass der Einstieg in

diese Technologie die Sicherheits- und Entsorgungsprobleme der Nukleartechnik weiter verschärfen würde.

[1] B.Grambow: Mobile fission and activation products in nuclear waste disposal. Journal of Contaminant Hydrology 102 (2008) 180-6

[2] P.Philippen: Transmutation radioaktiver Abfälle anstatt Langzeitendlagerung? In FZJ Monographie Bd. 8 (1993) „Fortschritte in der Energietechnik“ S. 262 ff. http://juser.fz-juelich.de/record/136274/files/Monographien_08.pdf

[3] S.Chiba et al.: Method to Reduce Long-lived Fission Products by Nuclear Transmutations with Fast Spectrum Reactors. Nature (2017)

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-14319-7.pdf>

[4] R.Moormann, K.Bongardt, S.Chiriki: Safety aspects of high power targets for European spallation sources. Proc. International Conference on the Physics of Reactors, Interlaken 14.-19.9.2008. <http://cds.cern.ch/record/1355177/files/document.txt> (Link: nur unformatierter Text) ●

Atommüll

Irrungen, infame Lügen und Täuschungen zum ASSE-Desaster

Rückblick eines betroffenen Zeitzeugen

Von Rolf Bertram¹

Geschichtliches

Mit einem Propagandaaufwand ohnegleichen wurde in den 1950er Jahren weltweit eine Euphorie für Atomenergie entfacht. In schillernden Bildern wurden die vermeintlich künftigen Errungenschaften des Atomzeitalters mit all ihren Verheißungen gepriesen. Unter dem Slogan „sauber, sicher und billig“ wurde die „Atomkraft“ als die Rettung vor allen künftigen Energieproblemen angepriesen. Sie sollte der Menschheit ein wahres Paradies auf Erden bescheren.²

Der Start für diese verhängnisvolle Entwicklung erfolgte

1953 mit der euphorischen Rede des US-Präsidenten zur „friedlichen Nutzung der Kernenergie“. Noch heute ist ungeklärt, ob EISENHOWER mit dem Titel „atoms for peace“ einen fulminanten Public Relation-Gag landen wollte oder ob er wirklich an den vermeintlichen Segen der Atomenergie geglaubt hat. Zunächst ging es um die Beschaffung und Erzeugung von „Brennstoff“ für Reaktoren. Ausgewählt wurde Plutonium, das sich auch vorzüglich als bombentaugliches Material verwenden lässt. (Es war die Phase des „kalten Krieges“!) Einflussreichen Seilschaften des „militärisch-industriellen Komplexes“ gelang es, mit Korruption und falschen Daten ein weltumspannendes Netz des „Atomzeitalters“ zu knüpfen. Und das mit Duldung und Förderung fast aller Regierungen!

In vielen Ländern wurden Forschungszentren errichtet, in denen quasi abgeschirmt aber unter exklusiven Bedingungen streng geheime Forschungsarbeiten durchgeführt wurden (in Deutschland vor-

rangig in Karlsruhe und Jülich). Selbst maßgebende Politiker wussten nicht, was sich dort abspielte. Man vertraute den „Verheißungen“ und bewilligte riesige Forschungsmittel. Starke Lobbygruppen sorgen bis heute dafür, dass diese Geldquellen weiter sprudeln.

Mit der Legende eines bevorstehenden Energieversorgungsnotstands³ wurden zweifelnde Politiker zum Schweigen gebracht und die Zustimmung der Öffentlichkeit erwirkt.

Von den „radioaktiven Rückständen“ zum ATOMMÜLL

Obwohl bereits zu jener Zeit in den offiziellen Verlautbarungen die Bedeutung einer sicheren Entsorgung der „radioaktiven Rückstände“ erwähnt wurde, vergingen nahezu 20 Jahre, ehe der Gesetzgeber 1976 die Forderung „nach einer geordneten Entsorgung“ erhob.

- Die vom Atommüll ausgehenden Gefahren waren sehr früh bekannt, wurden aber immer wieder von den Protagonisten der Atomenergie verleugnet.

- Frühe sachkundige Mahner – darunter mehrere Nobelpreisträger –, die wiederholt auf die unlösbaren Probleme bei der Endlagerung des

Atommülls hinwiesen, wurden diskriminiert und verloren zum Teil ihre Stellungen in Forschungsinstitutionen und Universitäten.

- Begründete Argumente gegen die Atomenergie wurden als Panikmache von Hinterwäldlern und „Strahlenneurotikern“ abgetan, die dem Fortschritt im Wege stünden und die Zeichen der Zeit nicht erkannt hätten.

- Konnte man bisher – wie die Historie zeigt – Technikfolgen einigermaßen abschätzen und Vorsorge treffen, so versagt bei der Endlagerung wegen der geologischen Zeiträume jede Art von Schadensprognose.⁴

All unser Wissen beruht auf Erfahrungen und Erkenntnissen aus Gegenwart und Vergangenheit. Was man in ferner Zukunft wissen wird, ist reine Spekulation. Wir können uns also nicht auf den Standpunkt stellen, dass es nachkommende Generationen schon richten werden. Schon gar nicht lässt sich etwas über die Stabilität

⁴ Wenn zum Beispiel in der Endlagerdebatte immer noch behauptet wird, man könne mit Hilfe „fortgeschrittener Rechenmethoden“ Prognosen für 1 Million Jahre treffen, so ist das eine bewusste Irreführung. Wer sich anmaßt, zu wissen wie die Verhältnisse in 1.000 oder sogar in 100.000 oder 1 Million Jahren sein werden, ist entweder intellektuell behindert oder ein Scharlatan.

¹ Prof. Dr. Rolf Bertram, Göttingen, zum Jahreswende 2017/18, bertramrolf@aol.com

² Das Batelle-Institut, selbst Mitglied im Deutschen Atomforum und aktiv an Forschungen zur Kernspaltung beteiligt, formulierte das in einer vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) 1977 in Auftrag gegebenen Analyse so: „Die Propaganda für Atomstrom dient der Infantilisierung des Passivbürgers.“

³ „Ohne Atomenergie gehen die Lichter aus“