

Alchemie oder Alternative?

Die umstrittene Technik der Partitionierung und Transmutation (P&T) könnte die Mengen an radioaktivem Abfall aus der Kernkraft langfristig deutlich reduzieren. Damit würden auch weniger Endlager nötig. Doch für welche Staaten könnte P&T eine realistische Option sein? »Spektrum der Wissenschaft« fragte **Christoph Pistner**, Experte für Nukleartechnik und Anlagensicherheit im Darmstädter Büro des Öko-Instituts.

Spektrum der Wissenschaft: Herr Dr. Pistner, Deutschland sitzt auf einer großen Menge nuklearen Mülls, auch wenn durch den beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie ein Ende der Anhäufung in Sicht kommt. Andere setzen weiterhin langfristig auf nukleare Stromerzeugung. Wie sollten sie mit dem dabei entstehenden Müll umgehen?

CHRISTOPH PISTNER: Die meisten Staaten gehen heute davon aus, dass sie die abgebrannten Brennelemente und hoch radioaktiven Abfälle in einem geologischen Endlager unterbringen, wo sie für Hunderttausende von Jahren von der Biosphäre abgeschirmt sind. Nach heutigen Erkenntnissen ist das auch das sinnvollste Vorgehen. Selbst ein Staat wie Frankreich, der die meisten abgebrannten Brennelemente wiederaufarbeitet, um Plutonium und Uran abzutrennen, benötigt ein geologisches Endlager. Denn nach der Wiederaufarbeitung bleiben Abfälle mit sehr hoher Radioaktivität und starker Wärmeentwicklung übrig, außerdem fallen große Mengen mittel- und schwach radioaktiver Abfälle an.

Jetzt kommt plötzlich das P&T-Verfahren daher und verspricht einen genialen Streich: Wir betreiben Alchemie und wandeln die radioaktiven Elemente in ungefährlichere Stoffe um. Wie ernst müssen wir diesen Ansatz nehmen?

PISTNER: In der Theorie klingt er sehr gut: Wir transmutieren die hoch radioaktiven Stoffe und haben zumindest einen Teil des Problems gelöst. Schwierig wird es, wenn man zur Praxis kommt. Man sieht dann sehr schnell, dass P&T, wenn die

Technik denn eines Tages funktionieren sollte, nur eine begrenzte Lösung bietet.

Allein Deutschland wird bis zum Ende des Betriebs seiner Reaktoren rund 15 000 Tonnen hoch radioaktiver Schwermetalle produziert haben. Etwa ein Drittel davon haben wir aber bereits in die Wiederaufbereitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien geschickt. Was von dort an aufgearbeiteten und verglasten Abfällen wieder zurückkehrt, steht für P&T nicht mehr zur Verfügung – das wird endgelagert werden müssen. Hinzu kommt: Auch wenn man gegenüber der klassischen Wiederaufarbeitung weitere Aktiniden aus dem





ALLE FOTOS DES ARTIKELS: MARKUS PALZER

Christoph Pistner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter für Nukleartechnik und Anlagensicherheit am Öko-Institut Darmstadt. Als Mitglied des Ausschusses Anlagen- und Systemtechnik der Reaktor-Sicherheitskommission berät er auch das Bundesumweltministerium. Darüber hinaus ist er Vorstandsmitglied von FONAS. Dieser Forschungsverbund fördert mathematische, natur- und technikkwissenschaftliche Methoden, die zu Abrüstung, internationaler Sicherheit und internationalem Frieden beitragen. Pistner gehört darüber hinaus dem Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalysen beim Bundesamt für Strahlenschutz an.

abgebrannten Brennstoff abtrennt, muss der verbleibende Abfall wegen der langlebigen Spaltprodukte darin für mehrere hunderttausend Jahre endgelagert werden. Die Isolation der Abfälle von der Biosphäre und die Auswahl eines geeigneten Endlagerstandorts erspart uns auch P&T nicht.

Europaweit stellt sich der mögliche Nutzen von P&T aber anders dar.

PISTNER: Da sind die Müllmengen natürlich viel größer. Neben Deutschland benötigen Länder wie Schweden, Finnland, die Schweiz, Großbritannien und Frankreich auf jeden Fall ein geologisches Endlager. Wenn Frankreich nicht rasch aussteigt, braucht man dort schon bald ein zweites. Ob Länder wie Belgien oder die Niederlande, die Kernenergie in geringerem absolutem Umfang genutzt haben, jeweils ein eigenes Endlager bauen, ist noch offen. Dies wird vor allem davon abhängen, ob gemeinsame Endlager für kleinere Länder in absehbarer Zeit politisch und gesellschaftlich durchsetzbar sein werden. Momentan zeichnet sich das nicht ab.

Sinkt durch P&T nicht die Zahl der nötigen Endlager?

PISTNER: Möglicherweise könnte man sie dichter befüllen, weil P&T die Wärmelast reduziert. Dann bräuchte man in der Summe womöglich weniger Endlager. Doch was kann P&T erreichen? Während der ersten rund 50 Jahre, nachdem ein Brennelement aus dem Reaktor entladen worden ist, dominieren bei der Wärmeleistung Spaltprodukte mit Halbwertszeiten von etwa 30 Jahren. Die sollen aber gar nicht transmu-

tiert werden. Es stellt sich dann eher die Frage, wie lange man den abgebrannten Brennstoff zwischenlagert, bevor er in ein Endlager kommt. Der zusätzliche Nutzen durch die Reduzierung des Aktinidenanteils ist dann nicht mehr so groß.

Man kann die Frage also so formulieren: Lohnen der Aufwand und die mit P&T verbundenen Risiken wie etwa der Betrieb zusätzlicher Reaktoren, wenn die Technik allenfalls die Zahl der Endlager in Europa reduziert, von beispielsweise acht auf sieben oder sechs?

Betrachten wir P&T versuchshalber als Option. Was würde als Nächstes geschehen?

PISTNER: Zum einen müssten wir grundlegend neue chemische Verfahrensschritte entwickeln, die an die heutige Wiederaufarbeitung anschließen und auch die minoren Aktiniden aus dem Brennstoff abtrennen.

Das ist also ein rein technisches Problem?

PISTNER: Was heißt schon rein technisch? Schließlich ermöglicht schon die klassische Wiederaufarbeitung den Zugriff auf Plutonium; diese Technik steht daher immer in engem Zusammenhang zur Weiterverbreitung von Kernwaffen. Zudem ist sie nicht nur politisch höchst umstritten. Die abgebrannten Brennelemente müssen zunächst einmal zerlegt werden, wobei sich einige Spaltprodukte erfahrungsgemäß nicht komplett zurückhalten lassen. Technetium oder Jod gelangen dabei in relevanten Mengen in die Umwelt. Und im Austausch dafür, dass das Volumen der hoch radioaktiven Abfälle

sinkt, erhält man relativ große Mengen an schwach und mittelradioaktiven Abfällen. Genau diese unvermeidbaren Sekundärabfälle werden auch beim Partitionieren die Gesamtleistung des Systems wesentlich mitbestimmen.

Die sich für P&T anschließenden Verfahrensschritte werden dann sukzessive komplizierter. Unter anderem muss man die Aktiniden von den Lanthaniden trennen, was schwierig ist, weil sie sich chemisch stark ähneln. All dies findet zudem unter extremen Bedingungen von Radioaktivität und Hitze statt.

Wenn aber alles klappt, soll die vom Atommüll ausgehende Gefahr schon nach einigen hundert Jahren deutlich reduziert sein.

PISTNER: Oft zieht man einen Radiotoxizitätsindex heran, der die Gefährlichkeit der radioaktiven Abfälle im Vergleich zu Natururan angeben soll. Dieser Index sinkt, wenn man die Menge an Aktiniden verringert. Doch er bildet gar nicht die Gefährdung aus einem realen Endlager ab, weil er unterstellt, dass das gesamte Inventar freigesetzt wird und in die Nahrungskette gelangt. Dabei ignoriert er aber sämtliche Aspekte, die für die tatsächliche Freisetzung von Radionukliden aus Endlagern relevant sind.

Nämlich?

PISTNER: Aus Langzeitsicherheitsstudien weiß man, dass bei den meisten Endlagerkonzepten die mögliche Freisetzung von Aktiniden eine relativ kleine Rolle spielt. Sie kämen nicht besonders weit, auch wenn man annimmt, dass Wasser unkontrolliert in ein Endlager eindringen würde. Anders die langlebigen Spaltprodukte wie Selen-79, Jod-129 oder Technetium-99 sowie Aktivierungsprodukte wie Chlor-36. Die sind geochemisch relativ mobil, kehren also leichter wieder in die Biosphäre zurück. Ihr Anteil am Atommüll ist zwar gering, aber wegen ihrer Halbwertszeiten von Hunderttausenden und Millionen von Jahren dominieren sie, falls sie freigesetzt werden, die Strahlendosis. Diese Nuklide müssten daher vorrangig transmutiert werden, was aber die meisten

vorgeschlagenen P&T-Verfahren gar nicht vorsehen. Endlager bleiben darum unumgänglich.

Sind die Probleme so groß, dass wir die Erforschung von P&T einstellen sollten?

PISTNER: Dass wir unsere Kompetenzen in der Kerntechnik erhalten, bleibt natürlich trotz Ausstiegsszenario wichtig. Manche der mit P&T verknüpften Fragen sind auch in anderen Zusammenhängen interessant. Wie mobil sind Aktiniden in einem Endlager? Welche Freisetzungswege sind denkbar? Außerdem brauchen wir Experten, um über die Sicherheit künftiger Reaktoren und über den Rückbau bestehender Anlagen zu wachen. Man müsste klären, inwieweit P&T-Forschung indirekt zur Lösung dieser Fragen beitragen kann oder ob man die Forschungsgelder nicht besser direkt in ihre Beantwortung investiert.

Wäre P&T ökonomisch sinnvoll?

PISTNER: Transmutationsreaktoren werden natürlich auch Strom produzieren, aber nicht für hohe Effizienz in der Stromproduktion optimiert sein. Kommt ein Beschleuniger zum Einsatz, wird auch der viel Strom benötigen. Darüber hinaus verursachen Partitionierung und wiederholte Wiederaufarbeitung und Brennstoffherstellung erhebliche Kosten. Insgesamt wird die Technik daher deutlich teurer sein als heutige Leichtwasserreaktoren. Auch das ökonomische Argument hilft also nicht wirklich weiter. Alles läuft immer auf die Bewertung heraus: Lohnt der ganze Aufwand für Partitionierung und Transmutation, wenn man damit allenfalls die Zahl der Endlager etwas reduziert?

Die Reaktorsicherheit wird aber doch ebenfalls erhöht.

PISTNER: In jedem Fall steigt mit P&T die Anzahl von Reaktoren und damit die Wahrscheinlichkeit für schwere Störfälle. Offen bleibt zudem, ob diese Anlagen wirklich sicherer wären. Mit der wachsenden Komplexität nimmt ihre technische Anfälligkeit sehr stark zu. Auch die Forschungsprogramme zu schnellen Brütern, die viele große Industrie-



»Lohnt der ganze Aufwand für Partitionierung und Transmutation, wenn man damit allenfalls die Zahl der Endlager etwas reduziert?«



Nuklearexperte Christoph Pistner (Mitte) im Gespräch mit den »Spektrum«-Redakteuren Thilo Körkel (links) und Reinhard Breuer.

nationen aufgelegt hatten, sind aus technischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Gründen mittlerweile weitgehend zum Erliegen gekommen.

Transmutationsreaktoren würden mit schnellen Neutronen, die durch einen Beschleuniger erzeugt werden, und einer Flüssigmetallkühlung arbeiten. Mit beidem gibt es kaum großtechnische Erfahrungen. Auch müssen die Forscher Brennstoffe erst einmal über Jahre hinweg erproben und natürlich auch die möglichen Unfallszenarien durchspielen. Zudem bedarf es jeweils mehrerer P&T-Zyklen, um eine bestimmte Menge Brennmaterial zu transmutieren, da in jedem Zyklus nur ein Teil der Nuklide gespalten wird. Hinzu kommt das Problem, dass auf Brennelemente in nächster Umgebung der zentralen Neutronenquelle mehr Neutronen treffen als auf weiter entfernte. Daher muss man die Elemente regelmäßig neu gruppieren. Durch solche Effekte kommen ganz neue Fragen auf die Ingenieure zu. Selbst der Beschleuniger ist ein kritisches Element.

Die Technologie von Protonenbeschleunigern ist doch bewährt.

PISTNER: Das schon. Für Forschungsanlagen reicht das auch aus. Aber für einen Transmutationsreaktor müssen solche Beschleuniger über viele Monate, ja Jahre hinweg konstant laufen. Jeder Strahlabriss entspricht einer Reaktorschnellabschaltung und belastet die Struktur des Reaktorkerns thermisch und mechanisch. Das muss bei der Auslegung und den Wartungsintervallen berücksichtigt werden. Auch sonst gibt es viel zu bedenken. Trifft ein Strahl die Strukturen des Beschleunigers, reduziert das deren Lebensdauer. Je mehr Reparaturen fällig werden, desto höheren Dosisleistungen ist wiederum das Personal ausgesetzt. Probleme oder Herausforderungen gibt es also reichlich, auch wenn der Realisierung bislang kein echter Show Stopper im Weg zu stehen scheint.

Angenommen, die Ingenieure werden mit all dem fertig. Wie viele dieser Anlagen bräuchte man denn?

PISTNER: Da sind nur grobe Abschätzungen möglich. Auf rund 20 Reaktoren, wie sie insgesamt in Deutschland betrieben wurden, würden vielleicht drei bis fünf Transmutationsreaktoren kommen, die dann ihrerseits zwei Reaktorgenerationen lang in Betrieb wären. Entsprechend wären für die rund 200 Reaktoren europaweit 30 bis 50 große Anlagen notwendig. In jedem Fall ist P&T nur dort sinnvoll, wo auch langfristig Kernenergie genutzt werden soll.

Was prognostizieren Sie für die nähere Zukunft?

PISTNER: Die Inbetriebnahme eines ersten großtechnischen Transmutationsreaktors werden heutige Ingenieure wohl nicht mehr erleben. Schon ein Zeitpunkt in 40 oder 50 Jahren scheint mir sehr ambitioniert. Erst einmal steht die Machbarkeitsprüfung des Konzepts durch die belgische Demonstrationsanlage Myrrha an. Ob die Erforschung von P&T generell sinnvoll ist, lässt sich aus heutiger Sicht noch kaum beantworten. Man kann sich nicht auf ein einziges großes Argument zurückziehen, sondern muss alle Aspekte berücksichtigen. Und natürlich muss auch die Politik entscheiden, ob sie die Investitionen überhaupt erbringen will. Heutigen Energieversorgern erscheint die Transmutation jedenfalls zu vage, als dass sie Geld dafür ausgeben würden.

Was heißt das konkret?

PISTNER: P&T ist längst nicht so weit, dass es unsere heutige Energiepolitik beeinflussen könnte. Das lässt sich auch daran ablesen, dass praktisch alle Staaten, die auf Kernkraft setzen, derzeit keine praktikable Alternative zur Endlagerung sehen. Was daher auf keinen Fall passieren darf, ist, dass sich die heutige Generation mit dem Verweis auf eine vage Hoffnung der unangenehmen Pflicht entledigt, ein Endlager zu finden. Selbst der optimistischste P&T-Forscher sollte wissen, dass daran kein Weg vorbeiführt. ~

Das Gespräch führten die »Spektrum«-Redakteure Thilo Körkel und Reinhard Breuer.