



Reduktion langlebiger Spaltprodukte

Das Problem

Irgendwann ist jedes Brennelement erschöpft und muß erneuert werden. Die "abgebrannten" Brennelemente werden von "Atomkraftgegnern" gern als "Atommüll" verunglimpft, obwohl sie recycelt werden können. Sie bestehen noch zu rund 96% aus Uran und Plutonium, die erneut als Brennstoff genutzt werden könnten. Sicherheitstechnisch betrachtet, stellt ihre ionisierende Strahlung ein – durchaus unterschiedliches – Problem dar. Es sind daher dauerhafte Abschirmungen in der Form von Wasserbädern, Sicherheitsbehältern etc. notwendig. (Hier der Artikel in [nature](#))

Der Faktor Zeit

Je länger die Halbwertszeit ist, um so länger dauert es, bis dieser Stoff verschwunden ist. Wenn man von einer Gefahr durch ionisierende Strahlung ausgeht, ist damit der Zeitraum bestimmt, in dem man den Stoff von der Biosphäre fern halten sollte:

- Es gibt unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung, die auch biologisch unterschiedlich wirken. Strahlung, die z. B. von Uran und Plutonium ausgeht, ist nur dann bedrohlich, wenn sie innerhalb des Körpers frei wird. Nimmt man sie nicht in den Körper auf (Nahrung, Atemluft), sind sie genauso harmlos, wie jedweder anderer Stoff auch.
- "Die Dosis macht's". Insofern ist die Konzentration eines radioaktiven Stoffes (z. B. im Trinkwasser) entscheidend.
- Freigesetzte Stoffe können sich (z. B. über die Nahrungskette) anreichern. Dies gilt naturgemäß besonders für langlebige Stoffe. Insofern sollten sie möglichst gar nicht erst freigesetzt werden.

Der Endlager-Standpunkt

Überzeichnet man die Gefahr, die von radioaktiven Stoffen ausgeht, kommt man zu dem Schluß, man müßte sie quasi "für ewig" sicher einschließen. Der Begriff des "Endlagers" ist erschaffen. Ein hervorragender politischer Kampfbegriff, weil wie ein Gummiband dehnbar. Man muß nur die Gefährlichkeit – was auch immer darunter zu verstehen sei – ausdehnen und kommt schnell zu Zeiträumen, die nicht mehr als beherrschbar erklärt werden können. Gipfel dieser Gespensterdebatte ist die Erforschung irgendwelcher Piktogramme, die

Außerirdischen oder sonst wie verblödeten Erdbewohnern die Lage eines "Endlagers" in Millionen von Jahren näher bringen sollen. Interessant ist dabei nur, wie locker man beispielsweise den Fallout aus unzähligen Kernwaffenversuchen nicht gekennzeichnet hat. Wären die Stoffe auch nur annähernd so gefährlich, wie sich Ökoaktivisten gern an den Lagerfeuern im Wendland erzählen, müßte die gesamte Menschheit bereits ausgestorben sein. Aber es geht dabei ja auch weniger um Fakten, als um Gesellschaftsveränderung.

Gleichwohl sollte man mit radioaktiven Abfällen verantwortungsvoll umgehen. Es ist das Verdienst der Kerntechnik, der erste Industriezweig zu sein, der sich von Anfang an um seinen Abfall Gedanken gemacht hat: Wiederaufbereitung und geologische Tiefenlager waren erfunden. Letztere aus einem ethischen Anspruch heraus, den Abfall nicht den folgenden Generationen als Problem und Kosten zu hinterlassen. Immer noch revolutionär, wenn man es mit dem sonst voll akzeptierten Umgang mit Abfällen und Deponien vergleicht.

Die Art der Beseitigung

Wenn man gebrauchte Brennelemente aufarbeitet, können sie weiterhin zur Energiegewinnung verwendet werden: In konventionellen Reaktoren als Mischoxid und in schwerwassermoderierten Reaktoren sogar in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung. Bedingung ist die Trennung von Uran und Plutonium von den Spaltprodukten.

Verwendet man diesen aufbereiteten Brennstoff in Reaktoren mit schnellem Neutronenspektrum (meist mit Natrium oder Blei als Kühlmittel), kann man damit sogar die minoren Aktinoide "verbrennen". Sie bilden sich aus Uran- und Plutoniumkernen, die trotz Neutroneneinfang nicht gespalten worden sind. Sie sind besonders langlebig und müssen zusammen mit Plutonium als Argument für eine "sichere Endlagerung über Millionen von Jahren" her halten.

Bleiben die Spaltprodukte übrig. Sie sind zumeist recht kurzlebig und strahlen deshalb sehr stark. So stark, daß sie sich aufheizen, deshalb gekühlt und sicher abgeschirmt werden müssen. Ein Problem, das sich nach einigen Jahrhunderten von selbst erledigt hat. Es wäre mit der Lagerung in simplen Bunkern technisch leicht beherrschbar, wenn es nicht einige wenige sehr langlebige Spaltprodukte geben würde. Hier setzt wieder die Ethik ein: Ist es zulässig, solche Stoffe unseren Nachfahren zu vererben? Es handelt sich um recht harmlose Stoffe (lange Halbwertszeiten bedeuten wenige Zerfälle pro Sekunde und damit grundsätzlich geringe Dosisleistungen) in sehr kleinen Mengen. Es geht hier um Halbwertszeiten von einigen Hunderttausend (Se^{79} , Tc^{99}) bis zu einigen Millionen (Zr^{93} , Pd^{107} , I^{129} , Cs^{135}) Jahren.

Man kann Atomkerne nur durch Neutronen in ein anderes Element umformen. Man benötigt also eine (möglichst starke) Neutronenquelle. Dieser Vorgang wird Transmutation genannt. Ein Favorit hierfür sind Spallationsquellen, bei denen Atomkerne beschossen werden und förmlich verdampfen. Sie sind sehr aufwendig, produzieren aber dafür auch große Mengen Neutronen. Grundsätzlich bleibt aber ein Problem: Die Stoffe existieren meist in einem Isotopengemisch. Man will aber eigentlich nur ein bestimmtes (besonders langlebiges) Isotop umwandeln.

Alle anderen Kernreaktionen sind parasitär und kosten nur die teureren Neutronen. Ein Schlüssel hierfür, sind die energieabhängigen Einfangquerschnitte.

Beseitigung in schnellen Reaktoren

Reaktoren mit schnellen Neutronen sind hervorragend zur "Verbrennung" von Plutonium und minoren Aktinoiden geeignet. Darüberhinaus benötigen sie nicht einmal Natururan, sondern geben sich sogar mit abgereichertem Uran als Brennstoff zufrieden. Allerdings sind sie nur schlecht zur Beseitigung der langlebigen Spaltprodukte geeignet. Diese besitzen nur sehr kleine Einfangquerschnitte für schnelle Neutronen. Es gibt aber einige Energiebereiche, in denen sie solche Neutronen begierig aufnehmen. Verzichtet man auf einige bei der Spaltung freigewordenen Neutronen – im statistischen Mittel auf 0,3 Neutronen pro Kernspaltung – kann man sie zur Umwandlung abzweigen. Man muß sie allerdings noch auf die ideale Geschwindigkeit abbremsen.

Damit ergibt sich folgendes Reaktorkonzept:

- Man baut einen zentralen Kern, in dem die eigentliche Energieproduktion aus Uran und Plutonium durch Spaltung mit schnellen Neutronen stattfindet.
- In einem "schnellen Brüter" ist diese Zone von einer Schicht aus abgereichertem Uran umgeben. Die Neutronen, die aus dem Kern rausfliegen und nicht zur Aufrechterhaltung einer Kettenreaktion benötigt wurden, reagieren hier mit dem Uran und bilden zusätzliches Plutonium. Bei einem "Brüter" ist hier die Produktion von Plutonium größer als gleichzeitig davon im Kern verbraucht wird.
- Verzichtet man nun auf einen Teil der "Brutrate", hat man Neutronen für eine Umwandlung von Spaltprodukten zur Verfügung. Man muß diese nur noch – möglichst an Ort und Stelle – auf die "richtige" Geschwindigkeit abbremsen. Man kann in den "Brutmantel" eine gewisse Anzahl von Brennstäben einfügen, die mit einem Gemisch aus den zu beseitigenden Spaltprodukten und einem geeigneten Moderator gefüllt sind. Ein solcher Moderator könnte z. B. Yttrium Deuterid (YD_2) sein. Er erfüllt die Bedingungen, selbst kaum mit Neutronen zu reagieren und die richtige Masse für die notwendige Abbremsung zu besitzen.

Die notwendige Verfahrenstechnik

Die Wiederaufbereitung wird erheblich komplizierter. Bei dem klassischen PUREX-Verfahren – wie es z. B. in Frankreich angewendet wird – gewinnt man möglichst reines Uran und Plutonium. Alles andere ist Abfall, der verglast und später in einem geologischen Tiefenlager "endgelagert" wird. Um diesen Abfall weiter zu entschärfen, müßte man in weiteren Schritten die Aktinoide und die langlebigen Spaltprodukte abtrennen. Beides ist sehr aufwendig und man sollte darüber nicht vergessen, daß es sich dabei nur um rund 4% des ursprünglichen Brennstoffs eines Leichtwasserreaktors handelt. Die zusätzliche Volumenverkleinerung ist somit äußerst gering.

Die langlebigen Spaltprodukte müssen nun noch in möglichst reiner Form gewonnen werden, um parasitäre Effekte zu vermeiden. Darüberhinaus muß ein eigener Wiederaufbereitungskreislauf eingerichtet werden, da nicht alle Spaltprodukte in einem Schritt beseitigt werden können. Ein gewaltiger Aufwand für so geringe Mengen. Darüberhinaus macht die ganze Sache nur wirklich Sinn, wenn mehr langlebige Spaltprodukte umgeformt werden, wie bei dem Betrieb dieses Reaktors wieder neu entstehen.

Schlußbemerkung

Der Aufwand für eine Transmutation ist sehr hoch. Gleichwohl erscheint der Erfolg durchaus verlockend. Wie Simulationen für den japanischen Monju-Reaktor zeigen, kann über einen Betrieb von 20 Jahren eine Reduktion der effektiven Halbwertszeit langlebiger Spaltprodukte von über 100.000 Jahren auf rund 100 Jahre erzielt werden.

Trotzdem darf die Frage erlaubt sein, ob der gewaltige (wirtschaftliche) Aufwand den (vermeintlichen) Sicherheitsgewinn aufwiegt. Andererseits wird Menschen mit Strahlenphobie auch dieser Aufwand nicht genügen. Es steht zu befürchten, daß das bekannte Rennen zwischen Hase und Igel der "Atomkraftgegner" lediglich fortgesetzt wird.