

Abgebrannte Brennelemente warten in einem Abklingbecken in La Hague auf ihre Wiederaufarbeitung.

Foto Laif

# Die zauberhafte Entschärfung des Atommülls

Es klingt wie Alchemie für die Kerntechnik: Der Zerfall von Plutonium und anderem hochradioaktiven Abfall wird mittels Neutronen radikal beschleunigt. Die Kernumwandlung ist reif für den großen Test.

Von Monika Etspüler

Wenn der Ausstieg aus der Kernenergie auch beschlossene Sache ist, werden die Kerntechnik und die damit verbundene Forschung über das Jahr 2022 fortbestehen. Das hat zumindest Bundesforschungsministerin Annette Schavan signalisiert. Sie plant ein Netzwerk mit Experten aus Wissenschaft und Politik, die unter anderem nach Lösungen für den Rückbau der Kernkraftwerke und für die Endlagerung radioaktiver Abfälle suchen. Denn eines ist klar, die Relikte des Atomzeitalters werden weiterstrahlen, und auf die Frage, wohin damit, gibt es bis heute keine befriedigende Antwort. Weltweit wächst der Berg abgebrannter Brennstäbe um rund 260 000 Tonnen pro Jahr – Tendenz steigend. Knapp siebentausend Tonnen liegen hierzulande in Abklingbecken und in Zwischenlagern und harren einer ungewissen Zukunft.

Die Hauptgefahr beim atomaren Abfall geht von den langlebigen Aktiniden aus. Dazu gehören Elemente, die schwerer als Uran sind. Bei der Kernspaltung in Atomkraftwerken entstehen Plutonium, Americium, Curium und Neptunium als unerwünschte Nebenprodukte. Deren Anteil beträgt in den abgebrannten Brennstäben zwar nur ein Prozent, wovon 90 Prozent Plutonium sind. Die Aktiniden und ihre Zerfallsprodukte senden aber zum Teil über mehrere 100 000 Jahre ihre hochradioaktive Strahlung aus. Werden die radioaktiven Stoffe freigesetzt und über die Atmosphäre, das Grundwasser oder die Nahrungskette von Lebewesen aufgenommen und in den Organismus eingebaut, ist das umliegende Gewebe einem radioaktiven Dauerbeschuss ausgesetzt. Zellen werden zerstört und genetisches Material verändert. Dabei können Krebserkrankungen entstehen, von denen Knochen, Nieren, Leber und die blutbildenden Organe besonders betroffen sind.

Die Idee, die Langzeitstrahler auf einen zeitlich überschaubaren Rahmen zurückzustutzen, ist verlockend und klingt wie ein Lehrstück moderner Alchemie. Damit aus langlebigen Radionukliden kurzlebige oder sogar stabile Isotope werden können, müssen die Aktiniden zunächst durch Herauslösen aus den abgebrannten Kernbrennstäben (Partitionierung) getrennt und dann durch sogenannte Transmutation in weniger gefährliche Atomkerne umgewandelt werden. Wenn das großtechnisch gelänge, könnte sich der Raumbedarf für die Endlager um den Faktor Drei bis Sechs verringern und der Zeitraum,

die der Atommüll unter Verschluss gehalten werden muss, auf fünf- bis zweitausend Jahre verkürzen.

Im vergangenen Jahr gab die Europäische Union grünes Licht für den Bau einer entsprechenden Anlage. Von 2014 an soll in der Nähe der belgischen Stadt Mol das Pilotprojekt mit dem wohlklingenden Namen Myrrha auf dem Gelände des Kernforschungszentrums SCK-CEN verwirklicht werden. Geplant ist, dass die knapp eine Milliarde Euro teure Anlage im Jahr 2023 in Betrieb gehen soll. Ihre thermische Leistung wird dann maximal siebenzig Megawatt betragen. Die Komponenten für eine entsprechende Anlage sind in den vergangenen Jahren von rund vierhundert Wissenschaftlern aus fünfzehn europäischen Ländern, aus den Vereinigten Staaten, Weißrussland, Russland und Japan entwickelt und optimiert worden. Koordinator dieses EU-Projekts, das im Jahr 2010 zum Abschluss kam, war das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), unter dessen Federführung die Grundlagen für Transmutationsanlagen wie Myrrha geschaffen wurden.

Das Prinzip, nach dem eine Transmutationsanlage arbeitet, basiert auf den Gesetzmäßigkeiten von Kernreaktionen. Stößt ein Atomkern etwa mit einem anderen Kern oder Kernbausteinen wie Proto-

tronen zerfällt. Schlussendlich bilden sich neue Produkte mit kürzerer Halbwertszeit und unter Umständen sogar stabile Elemente. Nimmt beispielsweise das Isotop Plutonium-239, das eine Halbwertszeit von rund 24 000 Jahren besitzt, ein Neutron auf, entstehen als Spaltprodukte Caesium-134 mit einer Halbwertszeit von nur noch zwei Jahren und das stabile Isotop Ruthenium-104.

Dem italienischen Nobelpreisträger Carlo Rubbia war es bereits in den achtziger Jahren gelungen, in einem Reaktor eine geringe Menge an Plutonium umzuwandeln. Doch technisch betrachtet, gestaltet sich dieser Prozess bis heute äußerst komplex. Zunächst werden Protonen in einem Teilchenbeschleuniger auf hohe Energien gebracht und auf ein flüssiges Gemisch aus Blei und Wismut gerichtet. Wenn die energiereichen Teilchen in das Metall eindringen, setzen sie schnelle Neutronen frei. Deren Zahl ist abhängig von der Leistung. Damit werden die Aktiniden, die man zuvor zu Pellets verarbeitet und in sogenannte Transmutationselemente eingebaut hat, bombardiert und zu Kernreaktionen angeregt.

Anders als bei einem Kernreaktor arbeitet eine Transmutationsanlage im unterkritischen Bereich. Das bedeutet auch, dass die Kettenreaktion endet, sobald der Pro-

teilchenbeschleuniger, Spallation und die Transmutation der Radionuklide im Megawatt-Maßstab funktionieren.

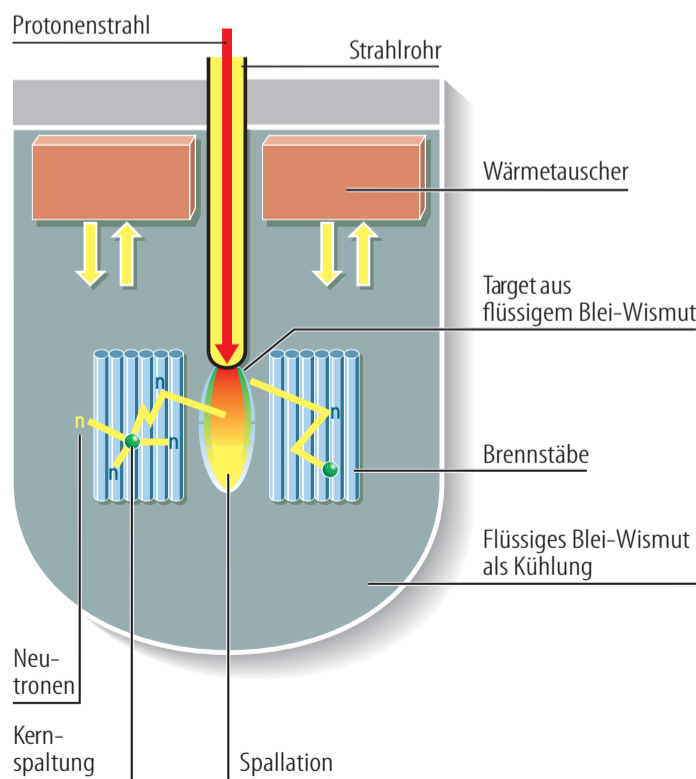
Die Dynamik einer solchen Anlage und die Wechselwirkung der einzelnen Komponenten untereinander bis ins Detail zu beherrschen bedeutet eine riesige wissenschaftliche Herausforderung. Die Helmholtz-Gemeinschaft und die Universitäten hierzulande spielen bei der Entwicklung dieser Techniken eine führende Rolle. Am Karlsruher Institut für Technologie untersuchen Joachim Knebel und seine Kollegen unter anderem die Fließeigenschaften der Blei-Wismut-Schmelze, die einmal als Kühlmittel in der Transmutationsanlage verwendet werden soll. Der Wissenschaftler und Bereichsvorstand der Helmholtz-Gemeinschaft will wissen, inwieweit das Flüssigmetallgemisch, das selbst zwischen 250 und 450 Grad Celsius heiß ist, die enorme thermische Energie, die im Inneren der Transmutationsanlage entsteht, herunterkühlen kann. Aus den Daten lässt sich dann die Charakteristik der Wärmeübertragung errechnen. Außerdem sollen Materialuntersuchungen zeigen, inwieweit das aggressive Blei-Wismut-Gemisch den Stahl im Inneren der Anlage angreift und ob spezielle Beschichtungen das verhindern können.

Im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf experimentieren Arnd Junghans und seine Mitarbeiter mit schnellen Neutronen, die beim Beschuss von Blei mit energiereichen Elektronen entstehen. Man ermittelt die Flugzeit der Neutronen und errechnet daraus die Geschwindigkeit und die Energie der Teilchen. Beide Größen bestimmen, wie hoch der Wirkungsgrad bei der Transmutation von Atomkernen ist.

Mit der Partitionierung, also dem Herauslösen der Aktiniden aus abgebrannten Brennstäben, befassen sich Andreas Geist vom Institut für Nukleare Entsorgung des KIT und Dirk Bosbach vom Forschungszentrum Jülich. Laborversuche zeigen, dass 99,9 Prozent dieser Stoffe für die Transmutation aufbereitet werden können. Das Ziel ist es, die Quote auf 99,99 Prozent zu steigern. Für Plutonium existieren dafür standardisierte Verfahren, Schwierigkeiten bereiten dagegen die Elemente Americium, Curium und Neptunium, die sich in ihrer chemischen Struktur stark ähneln. Zur sortenreinen Trennung der Aktiniden kreieren die Wissenschaftler hochspezifische Moleküle, sogenannte Liganden, mit denen die Stoffe aus dem Atommüll herausgelöst werden können. Ein Höhepunkt war für die Forscher, als ihnen im vergangenen Jahr die Trennung von Americium und Curium gelang.

Dennoch – bis zur großtechnischen Realisierung von Partitionierung und Transmutation ist es noch ein weiter Weg. Gelingt sie, könnte diese Technik eine wichtige Rolle beim Rückbau von Atommeilern und bei der Endlagerung spielen. Um sich solche innovativen Chancen offenzuhalten, hat die von der Bundesregierung eingesetzte Ethikkommission „Sichere Energieversorgung“ in ihrem Gutachten sogar empfohlen, „den radioaktiven Abfall auf rückholbare Weise zu lagern“. So weit wollen die Wissenschaftler der Helmholtz-Gemeinschaft dann doch nicht gehen. Was bereits verglast in einer Endlagerstätte ruht, sollte dort auch bleiben, so ihr Standpunkt.

## Transmutationsanlage



Quelle: FZ Karlsruhe

F.A.Z.-Grafik Döring

nen oder Neutronen zusammen, entsteht ein neuer Kern. Dieser ist instabil und zerfällt dadurch, dass er Neutronen aussendet oder spaltet.

Bei der Transmutation wird die Kernreaktion dadurch ausgelöst, dass man die Radionuklide mit schnellen Neutronen beschießt. Das Bombardement bewirkt, dass der Atomkern entweder direkt oder dadurch, dass er ein zusätzliches Neutron aufnimmt, gespalten wird oder in ein leichteres Isotop unter Abgabe von Neu-

tronenbeschleuniger abgeschaltet wird. Eine Anlage kann im Betrieb pro Jahr den hochradioaktiven Abfall von zehn Kernkraftwerken verarbeiten. Nur zwanzig Prozent der erzeugten Energie müssen für den Beschleuniger und den laufenden Betrieb aufgewendet werden, der Rest kann ins Stromnetz eingespeist werden. Mit der Versuchsanlage Myrrha werden zunächst eher naheliegende Ziele verfolgt. Sie soll den Nachweis erbringen, dass die verwendeten Techniken und die Kopplung von