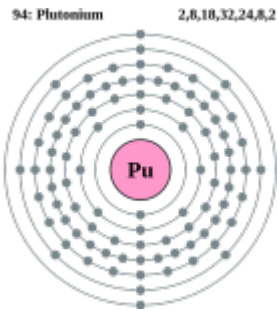


Immobilisierung von Plutonium und Cie!



Andersherum war dies der Grund, warum man sich recht früh auf ein „Teststoppabkommen“ in der Atmosphäre geeinigt hat. Es wurden über 2000 Kernwaffentests international durchgeführt. Durch die Zündung von Kernwaffen in der Atmosphäre wurden zig Tonnen Uran, Plutonium und Spaltprodukte über die gesamte Erde verteilt. Auch das wieder als Hinweis, wie schamlos die Propaganda von Greenpeace und Konsorten bezüglich „Atommüll“ ist, von denen ja wenige Gramm ausreichen sollen, die ganze Menschheit auszurotten.

Eine vorübergehende Lagerung

Plutonium wird z. B. in den USA in Fässern aus Edelstahl gelagert. Diese Fässer sind etwa 90 cm hoch und haben einen Durchmesser von 50 cm und beinhalten eine Portion von jeweils etwa 4,4 kg Plutonium. Wegen dessen hoher Dichte eine sehr „luftige“ Verpackung. Dies geschieht aus Sicherheitsgründen, damit auf jeden Fall eine Kettenreaktion verhindert wird. Diese Fässer stehen in ständig überwachten Bunkern. Selbst die kleinste Undichtigkeit würde sofort erkannt werden.

Alle Transurane sind nur schlecht wasserlöslich. Eine Verbreitung über große Strecken ist schon deshalb ausgeschlossen. Dies ist nicht nur eine theoretische Überlegung, sondern auch in unfreiwilligen Großversuchen betätigt: In den Anfangsjahren der Kernwaffenproduktion hat man die gesamte Brühe (Spaltprodukte, Minore Aktinoide usw.) einfach in unterirdischen Tanks (Abschirmung) gelagert. Teilweise sind diese undicht geworden und ein Teil der Ladung ist im Boden versickert. Man verfügt deshalb über jahrzehntelange Messreihen zur Ausbreitung aller Spaltprodukte und von Plutonium im Erdboden. Im Laufe der Jahrzehnte hat sich in diesen Tanks eine Schlammschicht aus „Atommüll“ abgelagert. Diese wird nun kostspielig beseitigt und für eine Endlagerung im WIPP umgeformt. Vor dem Transport zum WIPP werden sie verglast und in endlagerfähige Behälter aus Edelstahl abgegossen.

Die Verglasung

Glas ist ein sehr haltbarer Werkstoff. Wir finden heute noch

Glasscherben aus der Antike, die aussehen, als wären sie erst gestern hergestellt worden. In der Fischerei werden deshalb z. B. Glaskugeln als Schwimmkörper eingesetzt. Sie halten Salzwasser und hohen Drücken über Jahrzehnte stand. Zudem ist Glas auch noch billig und einfach (Automatisierung) herstellbar. Jahrzehntlang hat man weltweit Spezialgläser entwickelt, die ein besonders hohes Rückhaltevermögen für Spaltprodukte und Transurane besitzen.

Der plutoniumhaltige Abfall wird kalziniert (bei hohen Temperaturen gebrannt um alle chemischen Verbindungen aufzubrechen und das Kristallwasser auszutreiben) und gemahlen. Parallel wird in einem Schmelzofen eine Glasfritte erzeugt, in die der Abfall eingestreut wird. Der Abfall löst sich wie Zucker im heißen Tee gleichmäßig im flüssigen Glas auf. Je nach Abfallzusammensetzung kann man etwa 20 bis 30% Abfall auflösen. Ist die Mischung homogen, wird sie in Edelstahlbehälter abgegossen. Da Glas eine „unterkühlte Flüssigkeit“ ist, erhält man auch im erkalteten Zustand einen homogenen „Abfallblock“.

Die Abfallmenge, die bisher verglast und bis 2009 in der WIPP eingelagert wurde, enthielt etwa 4,5 to Plutonium. Weitere 17 to stark verunreinigtes Plutonium sind ebenfalls zur direkten Endlagerung in der WIPP vorgesehen.

Bildung von synthetischem Gestein

Eine weitere Methode – die besonders für Plutonium – geeignet erscheint, geht genau einen anderen Weg: Man stellt einen synthetischen Stein her (SynRoc) in dessen Kristallgitter das Plutonium fest eingebaut ist. Diese künstlichen Steine sollen noch einmal um den Faktor eine Million weniger löslich sein als Glas. Man hat in verschiedenen Einrichtungen in den USA und in der Wiederaufbereitungsanlage in Sellafield (GB) mehrere to Plutonium mit dieser Methode eingeschlossen. Es handelt sich dabei um jeweils kleine Mengen Plutonium aus verschiedenen Forschungsprogrammen. Es lohnt nicht, diese „geringen Mengen“ aufwendig mit Spezialverfahren aufzubereiten. Es ist zumindest wirtschaftlicher, diese Mengen mit ins Endlager zu geben.

Bei dem SynRoc-Verfahren wird ein Gestein auf der Basis von ausgewählten Titanaten hergestellt. Diese werden in der richtigen Mischung mit Wasser vermahlen und das Plutonium (bis 30%_{Gew}) zugesetzt. Dieser Schlamm wird getrocknet und bei 750°C kalziniert um ein feines Pulver zu erhalten. Dieses Pulver wird auf einer automatischen Abfüllanlage in kleine, hantelförmige Edelstahldosen abgefüllt, die sofort verschweißt werden. Der entscheidende Verfahrensschritt ist nun ein heißisostatisches Pressen: Die „Hanteln“ werden acht Stunden lang bei 1300°C und einem Druck von 1000 bar gesintert. Heraus kommen

schwarze, gesteinsartige Zylinder.

Zurück zur Abrüstung

Wie schon ausgeführt, ist die Lagerung von Plutonium kein großartiges Problem. Das Problem bei reinem Pu_{239} ist vielmehr, daß man es jederzeit wieder zum Bau neuer Kernwaffen verwenden kann. Das Sicherheitsproblem ist also nicht der Strahlenschutz, sondern der „Diebstahlschutz“. Die National Academy of Sciences erschuf den „Selbstschutz-Standard durch γ -Strahlung“ auf der Basis von „abgebrannten Brennelementen“. Fast das gesamte Strahlungsfeld wurde auf den Zerfall von Cesium-137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren bezogen.

Nachdem man langsam zu der Erkenntnis gelangte, daß das Mischoxid-Programm völlig aus dem Ruder lief, hat die Obama-Administration 2014 folgende Alternativen vorgeschlagen:

1. Verdünnung des Plutoniums mit noch vorhandenem Restmüll und anschließende Einlagerung im WIPP.
2. Der „*can in canister*“ Ansatz zur Einlagerung in hochaktivem Glas.
3. Entsorgung in 5000 m tiefen Bohrlöchern, und
4. Bestrahlung in einem natriumgekühlten Reaktor mit schnellem Neutronenspektrum.

DIE VERDÜNNUNG

Die Verdünnung des Plutoniums durch die Auflösung in noch vorhandenem Restmüll aus der Wiederaufbereitung kann man wohl nur als Schnapsidee bezeichnen. Man erzeugt damit wieder besonders langlebigen „Atommüll“. Zum Glück hat man nur noch kleine Mengen unverglasten Restmüll in den Labors übrig, die nicht ausreichen werden um das „Überschuss Plutonium“ auf diese Art zu beseitigen. Allenfalls geringe Mengen – die auf irgendeine Art besonders schwer zu behandeln sind – sind so gegen Diebstahl zu schützen.

Eine Abwandlung dieses Weges hat das Energieministerium (DOE) schon 2011 beschritten: Über 580 kg Plutoniumoxid Pulver aus den Labors der Savannah River Site wurden mit einem geheimgehaltenen Stoff gemischt, der angeblich besonders schwer wieder zu trennen ist. Diese Mischung – mit einem Anteil von 10% Plutonium – wurde in Rohre von 15 cm Durchmesser abgefüllt, die wiederum einzeln in 200 l Fässern eingeschlossen wurden („*pipe-overpack containers*“). Der Gehalt an Plutonium pro Faß wurde auf höchstens 175 gr begrenzt.

Würde man den Gehalt pro Faß auf 340 gr Plutonium erhöhen, wären für 50 to Plutonium rund 150 000 Fässer nötig. Eine – von derzeit sieben Kammern im WIPP Endlager– könnte 90 000 Fässer aufnehmen. Ursprünglich

betrug das genehmigte Einlagerungsvolumen für das WIPP 176 000 m³ für Abfall mit Transuranen. Eine Genehmigung für eine Erweiterung ist in Arbeit.

Die Kritik von Sicherheitsexperten über diese Methode zur Einlagerung von waffengrädigem Plutonium ist nicht ganz von der Hand zu weisen: Für den Bau einer „Nagasaki Bombe“ wären etwa 20 solcher „Rohre“ mit den Abmessungen von 15 cm Durchmesser und 60 cm Länge nötig. Bei einer Stückzahl von 150 000 Stück, mit diversen verteilten Produktions- und Lagerstätten eine extrem geringe Anzahl. Die bewegt sich schon in in der Größenordnung vorgekommener Buchung- und Bilanzierungsprobleme. Selbst ein reiner Papierverlust wäre eine Katastrophe in der öffentlichen Wahrnehmung.

DAS DOSE IN KANISTER VERFAHREN

Aus dem „Selbstschutz-Gedanken“ wurde das „*can in canister*“ Verfahren entwickelt. Man mischt etwa 10% Plutonium mit speziellen Stoffen, die besonders schwer trennbare chemische Verbindungen mit ihm eingehen, presst dieses Pulver in Scheiben und sintert diese zu Keramik. Das ergibt die „Immobilisierung“. Diese Scheiben werden in Dosen von etwa 6 cm Durchmesser und 25 cm Höhe gefüllt. Jede dieser Dosen enthält etwa 1 kg Plutonium. Jeweils 28 Dosen kommen in einen Kanister von etwa 3 m Kantenlänge und werden mit flüssigem, strahlenden Glas aus der Beseitigung von hochaktivem „Atommüll“ umgossen. Für die geplant 50 to „Überschussplutonium“ werden also 1800 solcher Kisten benötigt. Genau das ist aber das Problem: Die USA haben gar nicht mehr solche Mengen unbehandelten hochaktiven Müll zur Verfügung.

Das Energieministerium (DOE) hat als Standard für eine „Selbstsicherung“ bei solchen Kanistern eine Strahlendosis von 1 Sv pro Stunde in einem Abstand von einem Meter in 30 Jahren nach der Befüllung definiert. Man würde deshalb für die Kanister über $1,221 \times 10^{18}$ Bq Cäsium-137 (rund 225 kg) benötigen. Zur Orientierung: Bei der Tschernobyl-Katastrophe soll eine Aktivität von etwa $8,5 \times 10^{16}$ Bq Cs₁₃₇ freigesetzt worden sein.

BOHRLÖCHER

Seit Jahrzehnten gibt es den Vorschlag „Atommüll“ in tiefen Bohrlöchern (ca. 3000 bis 5000 m tief) einzulagern. Dahinter steckt der Grundgedanke: Tiefe = langer Weg bis zur Oberfläche = lange Zeitdauer. Die angepeilte Tiefe ist etwa die zehnfache Tiefe von bergmännischen Endlagern. Diese große Tiefe stellt eine zusätzliche Sicherheit vor der „Wiedergewinnung“ des „Waffen-Plutoniums“ dar.

Es wurden bereits Demonstrations-Bohrungen durchgeführt und über 110 Standorte in den USA bewertet. Kriterien waren unter anderem:

Entfernung zu Siedlungsgebieten, das Vorhandensein von kristallinem Grundgestein ab 2000 m Tiefe, flacher Verlauf der Schicht, geringer geothermischer Wärmestrom und geringer Vulkanismus.

Diese Form der Endlagerung geht davon aus, daß es mindestens drei Gründe gibt, warum ein natürlicher Transport durch Wasser bis an die Oberfläche nahezu ausgeschlossen ist – selbst wenn das Plutonium sich aufgelöst hat:

1. Der gewaltige Gebirgsdruck in solchen Tiefen schließt etwaige Risse und Spalten sehr schnell, sodaß es nur zu sehr geringen Strömungen von Wasser kommt.
2. Plutonium hat nur eine äußerst geringe Löslichkeit in solch sauerstoffarmen Tiefenwasser.
3. Tiefenwasser ist meist mit Mineralien und Salzen gesättigt, was eine hohe Dichte zur Folge hat. Es gibt deshalb wenig Auftrieb, der es überhaupt mit eher oberflächennahem „Trinkwasser“ in Kontakt bringen könnte.

Die Bohrungen sollen auf die Mindesttiefe plus einem zusätzlichen Stück zur Einlagerung abgeteuft werden. Studien haben ergeben, daß so ein „Lageraum“ von etwa 40 m³ pro Bohrung (Enddurchmesser ca. 16 cm) geschaffen werden kann. Nach Einlagerung wird die Bohrung wieder sorgfältig verfüllt. Ein erprobter Vorgang bei zig Tausend Bohrungen in der Öl- und Gasindustrie.

Bisher ist diese Methode an zu hohen Kosten gescheitert. Allerdings hat die Bohrtechnik in den letzten Jahren einen sehr rasanten Fortschritt erlebt. Inzwischen gibt es sogar schon Studien über horizontale Bohrungen in geeigneten Schichten. Man geht von einem dramatischen Verfall der Kosten aus. In Verbindung mit der ebenfalls rasanten Entwicklung von Robotern, ein durchaus vielversprechender Ansatz auch für die Endlagerung von besonders hochaktivem „Restmüll“.

BESEITIGUNG IN REAKTOREN .

In diesem Blog ist schon vieles über Reaktoren mit schnellem Neutronenspektrum geschrieben worden. Man kann nur hoffen, daß auch die USA den Mut haben, diesen Weg einzuschlagen. Ein guter Start wäre der Bau z. B. eines PRISM als Demonstrationsreaktor für die Beseitigung von überschüssigem Waffen-Plutonium in der Hand des Energieministeriums. Vieles könnte unter den militärischen Bedingungen der Kernwaffenproduktion schnell und problemlos durchgeführt werden. Milliarden Dollar sind durch die ohnehin bereitzustellenden Beseitigungskosten unter dem politischen Druck der Abrüstungsverträge vorhanden. Der Demonstrationsreaktor wäre – ähnlich der Geschichte des Druckwasserreaktors als Antrieb für U-Boote – sehr schnell und kostengünstig in eine zivile Anwendung überführbar. Ist dies

vielleicht der wahre Grund, warum „Atomkraftgegner“ so verbissen an der direkten Endlagerung fest halten?

Der Beitrag erschien zuerst auf der Website des Autors [hier](#)