

Atommüll ein Problem?

Zusammenfassung

In den Kernkraftwerken fallen jährlich jeweils etwa 15 – 25t abgebrannter Brennstoff als sog. hochradioaktiver Atommüll an. Vergleichsweise entspricht dies der Energiemenge von 2 - 4.4 Millionen Tonnen Kohle, bzw. 400.000 Tonnen giftiger Asche und Filterstäube die als Rückstände der Verbrennung anfallen.

Der hochradioaktive Atommüll lässt sich nach einer 3- jährigen Zwischenlagerung zum Abklingen der Strahlung, danach durch Recycling (*Wiederaufbereitung*) des noch im Abfall enthaltenen Brennstoffs auf 1/20 reduzieren. Die verbleibenden 5% sind zu einem erheblichen Teil gleichfalls nutzbar. Die verbleibenden langlebigen, strahlenden Isotope können durch Mutation in nichtradioaktive Stoffe verwandelt werden, womit sich der sog. hochradioaktive Atommüll fast restlos beseitigen ließe. Mögliche technische Verfahren sind allerdings teuer und würden den Preis des umweltfreundlichen Stroms signifikant erhöhen. Ein Verschwinden des Atommülls würde andererseits keinen Gegner der Atomenergie von seinem Glauben abbringen. Auch gibt es analog der chemotoxischen Abfälle zahlreiche Wege den anfallenden Atommüll zu entsorgen. Der heutzutage am häufigsten gegangene Weg ist es diese Abfälle in geologisch sicheren Formationen in Salz, Ton, oder Granit zu lagern. Im Folgenden wird auch auf die Alternativen, wie das Lagern in der Wüste, im Meer, oder im ewigen Eis, ein. Verfahren die eleganter und günstiger sind.

Einleitung

Derzeit werden jährlich 200.000 Tonnen Arsen-, Zyanid-, Dioxin- und Furanhaltiger Giftmüll im ehemaligen Kalisalzbergwerk Herfa-Neurode eingelagert(14). Große Mengen giftiger Filterstäube, z.B. aus Kohlekraftwerken, werden als Bergversatz in Kohlezechen endgelagert (13). Filterstäube und Kohleasche können neben diversen Giften auch bis zu 200ppm Uran enthalten. Dieser Anteil liegt an der Grenze für eine wirtschaftliche Urangewinnung und so plant man in China eine Urangewinnung aus den Hinterlassenschaften mehrerer Kohlekraftwerke. (4) *Langfristig, d. h. in der Nachbetriebsphase ist das Gefährdungs-Potenzial der radioaktiven Abfälle bzw. Endlager niedriger als das der chemotoxischen Abfälle bzw. einer UTD (Untertagedeponie)..... Es besteht eine Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Risiko und der Risikowahrnehmung in der Öffentlichkeit. Aus Strahlenschutzpraxis (15)*

Es ist nur ökologisch (*irrational*) zu erklären, dass der Atommüll ein derartiges mediales Aufsehen genießt. Ausgerechnet die geringen Mengen an Atommüll werden seitens der Ökologen als unlösbares Problem (*wobei Sie mögliche Lösungen blockieren*), dargestellt. Nüchtern betrachtet ist die Müllentsorgung ein Vorteil für die Kernenergie. Denn aufgrund der enormen Energiedichte des Brennstoffs und der weitgehenden Wiederverwertbarkeit ist das Müllproblem wesentlich geringer als bei Kohle, Wind und Sonne.

1. Anfall hochradioaktiver Abfälle in Kernkraftwerken

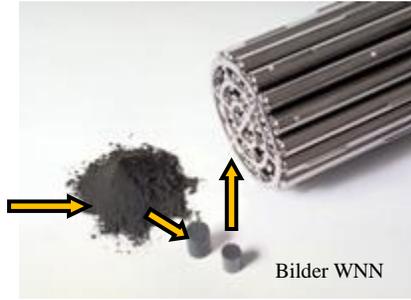
Ein typisches Leichtwasserkernkraftwerk, ein Druckwasserreaktor, ist mit etwa 100 Tonnen leicht angereichertem Uran (*Oxid*) beladen. Die Spaltung von 1g ^{235}U erzeugt ca. 22000 KWh entsprechend der Verbrennung von 2700 kg Kohle(2). In einem Jahr erzeugt ein derartiges Kraftwerk bei 33% Wirkungsgrad 10.000 GWh Strom. Dabei werden 1100 Kg Uran und im Reaktor erbrütetes Plutonium gespalten. Jeweils nach einem Jahr wird z.B. knapp 1/4 des Brennstoffs (*Abbrand 50,55 MWd/kg*) ausgetauscht. Die Zusammensetzung des ausgetauschten Brennstoffs* kann wie folgt aussehen:

Als Brennstoff nutzbar	<p>20,9 to Uran, entsprechend 23,6 to Uranoxid, Isotopenzusammensetzung z.B. 0,68% U235, 0,58% U236, Spuren U234, Rest ^{238}U*</p> <p>240 kg Plutonium, entsprechend 272 Kg Plutoniumoxid, Zusammensetzung: 3% Pu238, 50% Pu239, 26% Pu 240, 13% Pu241 u. 8% Pu242*</p>
Atommüll teilweise nutzbar	<p>1100 kg Spaltprodukte incl. Sauerstoff (Oxide) davon</p> <p>830 Kg Stabile Spaltprodukte, z.B. 24 Kg Molybdän 95 (<i>Keine Radioaktivität</i>)</p> <p>39 kg Caesium137, Halbwertszeit 30,2J, Strontium90 Halbwertszeit 28,1J, Jod</p> <p>24 kg Technetium,</p> <p>30 kg langlebige Spaltprodukte</p>
Als Brennstoff in Brütern nutzbar	<p>29 kg Transurane (Minore Actinide), davon. 15,5 kg Neptunium Np237, 7,4 kg Americium Am 241, 5,6kg Am 243, Curium *(Mit schnellen Neutronen spaltbar, bzw. in schnellen Brütern nutzbar)</p>

*Gem. einer ICP-MS Analyse Mittelwert mehrerer Brennstäbe aus einem Druckwasserreaktor, mit 4% Anfangsanreicherung und 50,55 MWd/kg mittlerer Abbrand

Zu dem oben genannten hochradioaktiven Abfall kommen 50 m³ (*konditioniert*) leicht u. mittelradioaktive Abfälle, wie gebrauchte Kittel, Handschuhe, aber auch 9 Tonnen (*Erläuterung e*) Strukturmaterial, in erster Linie die Brennstabhüllen, hinzu.

2. Reduzierung des Atommülls durch weitere Nutzung als Kernbrennstoff



Ein Verfahren besteht darin den abgebrannten LWR Brennstoff zu mahlen und anschließend wiederum zu Tabletten zu pressen, in Brennstäbe zu füllen und zu Candu Brennelementen zu konfigurieren.

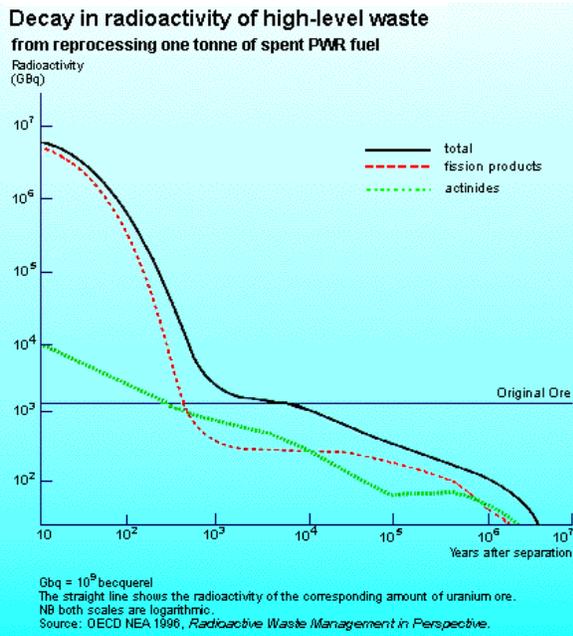
Eine sehr elegante Möglichkeit mehr Energie aus dem Kernbrennstoff, bzw. weniger Atommüll je erzeugter kWh (*Energieeinheit*) zu gewinnen ist der **DUPIC** (*Direct Use of used PWR fuel in CANDU reactors*) Prozess. **CANDU** (*CANadian Deuterium Uranium*) Reaktoren werden mit dem wesentlich effektiveren Schwerwasser moderiert. Dadurch kann dieser Reaktortyp mit für Leichtwasserreaktoren bereits abgebranntem Brennstoff betrieben werden. Candu

Reaktoren sind in Kanada, Indien, Rumänien, Korea und China im Einsatz. Der Abbrand der Brennstäbe erhöht sich um etwa **20%**, oder 10 – 12 MWd/kg. Hierzu müssen die hochradioaktiven Brennelemente in einer geeigneten Anlage auf die Brennstoffkonfiguration des CANDU Reaktors konvertiert werden (*Erläuterung g*). Umfangreiche Tests dieses

Verfahrens wurden in China und anderen Ländern durchgeführt (**30**).

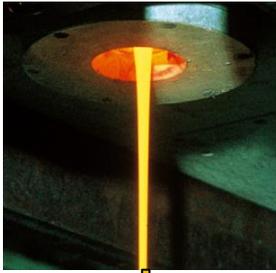
3. Reduzierung des Atommülls durch Wiederaufarbeitung (*Recycling*)

Langlebige radioaktive Stoffe wie Uran, oder Thorium kommen in der Natur häufig vor und strahlen nur geringfügig. Kurzlebige radioaktive Stoffe zerfallen größtenteils bereits im Reaktor. Problematisch sind, wie man auch aus der obigen Darstellung erkennen kann die radioaktiven Stoffe mit Halbwertszeiten von mehreren Jahren bis zu 1 Mio. Jahre. Plutonium ist sehr giftig, radioaktiv und hat (z.B. ^{239}Pu) eine Halbwertszeit von 24000 Jahren. Das bedeutet es ist als Abfall sehr schwierig zu entsorgen. Andererseits ist ^{239}Pu ein wertvoller Brennstoff in Kernkraftwerken. Deshalb ist es geboten den genutzten Brennstoff wieder aufzuarbeiten. Die abgebrannten Brennstäbe enthalten etwa 96% Uran und Plutonium, die als wertvolle Brennstoffe wiederverwertet werden können.



Das Bild zeigt die Radioaktivität abgebrannten Kernbrennstoffs. Es unterscheidet sich von der obigen Analyse.

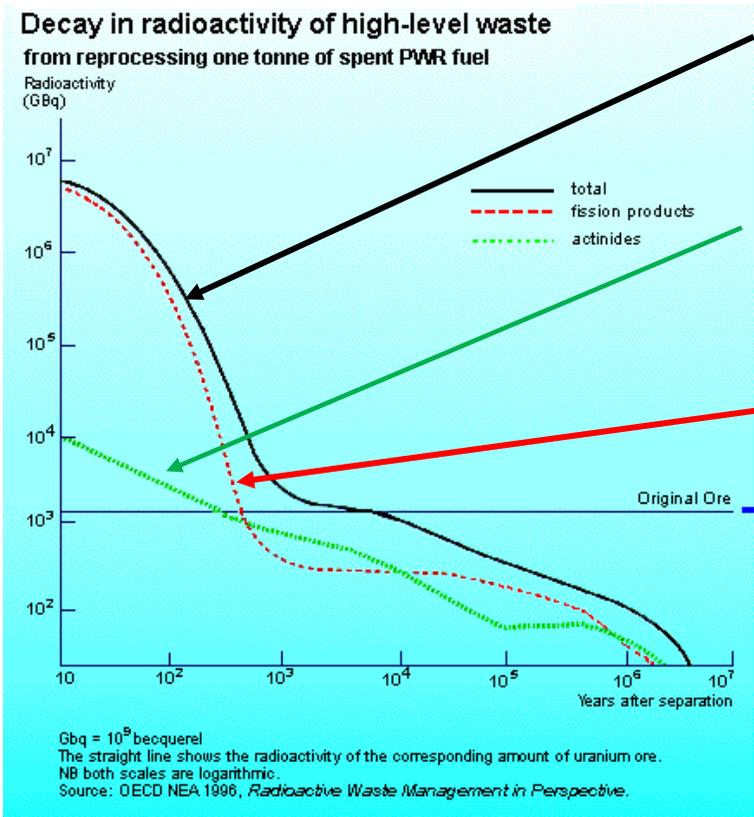
Es verbleiben 1100 kg hochradioaktiver Müll der nach einigen Jahrhunderten (*bei Abtrennung der Actinide*) auf das Niveau von Natururan abgeklungen ist und etwa 10^3 Betriebsabfälle aus der Wiederaufbereitung. In Deutschland wurde die Wiederaufarbeitung von Minister Trittin aus ökologischen (=irrationalen) Gründen verboten. Ein erheblicher Teil der Atommüllproblematik beruht auf dieser ökologischen Entscheidung.



Die Bilder links zeigen die Abfüllung einer Mischung aus Borsilikatglas versetzt mit hochradioaktivem Müll in der Wiederaufbereitungsanlage in La Hague, sowie einen der verwendeten Edelstahlbehälter in denen diese Masse eingeschmolzen wird



Radioaktivität der Reststoffe aus der Wiederaufbereitung



Gesamt Radioaktivität

Man beachte die Rolle der Transurane (*Actinide*). Bei einer vollständigen Abtrennung derselben ist die Radioaktivität des hochradioaktiven Abfalls nach ein paar Jahrhunderten auf das Niveau von Uranerz abgeklungen.

Spaltprodukte

Zum Vergleich Strahlung von Uranerz

4. Mögliche Nutzung der verbleibenden Reststoffe aus der Wiederaufbereitung

4a. Extrahieren und Nutzung der Reststoffe

Gem. einer ICP-MS Analyse von mehreren Brennstäben aus einem Druckwasserreaktor, 4% Anfangsanreicherung und einem mittleren Abbrand von 50,55MWd/kg Abbrand kann man auf 25 Tonnen Brennstoff bezogen, in dem nach der Abtrennung des Urans und Plutoniumoxids verbleibenden **1100 kg** Restabfall folgende Spaltprodukte erwarten:

Rh 103 13,4 kg Rhodium ist eines der wertvollsten Elemente der Welt, Der Preis beträgt etwa **65.499€/kg (19)**. Neben dem ^{103}Rh kommt auch ein radioaktives Rhodium Isotop in Spuren vor, das jedoch mit einer Halbwertszeit von 39 Tagen bereits vor einer möglichen Wiederaufarbeitung zerfallen ist und eine Nutzung nicht behindert.

Ru 101 25 kg. Ruthenium, Preis **4540 €/kg (29)** ist gleichfalls ein sehr seltenes teures Metall. Durch Verunreinigung mit Spuren des radioaktiven ^{106}Ru , kann man dieses erst nach einigen Jahren nutzen.

Ag 109 1,4 kg, Preis **535 €/kg (27)** nicht radioaktives Silber.

Sm 149,150,151,152. Gilt als seltene Erde. ^{151}Sm hat eine Halbwertszeit von 90 Jahren und verhindert durch radioaktive Verunreinigung eine Nutzung des Samariums.

Tc99 24 kg, Preis **83.000\$/kg (20)** Technetium wird dringend als Radiopharmaka benötigt. Als Tracer wird es in die Blutbahn gespritzt und lagert sich in schwerzugänglichen Organen an Krebszellen an. Derzeit wird überlegt aufgrund der Knappheit desselben neue spezielle Reaktoren zum Erbrüten dieses Isotops zu errichten (16). In der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield wird das anfallende ^{99}Tc teils gewonnen. Eine Produktion im Bereich mehrerer to aus der Wiederaufbereitung abgebrannten Kernbrennstoffs würde einerseits den Preis für ^{99}Tc massiv einbrechen lassen, andererseits eine Behandlung für viele Menschen erschwinglich machen und diesen helfen.

Sr90 Radioaktiv, Strontium wird in Radionuklidbatterien als Stromquelle genutzt

Nd 143, 145, 148 Gesamtmenge der Isotope **54 kg.** Der Preis von **68 €/kg (26)** bietet begrenzten Anreiz für eine Nutzung. Die Isotope des Neodyms sind stabil, oder haben sehr lange Halbwertszeiten im Bereich 10^{15} Jahren. Neodym wird in Hochleistungsmagneten genutzt

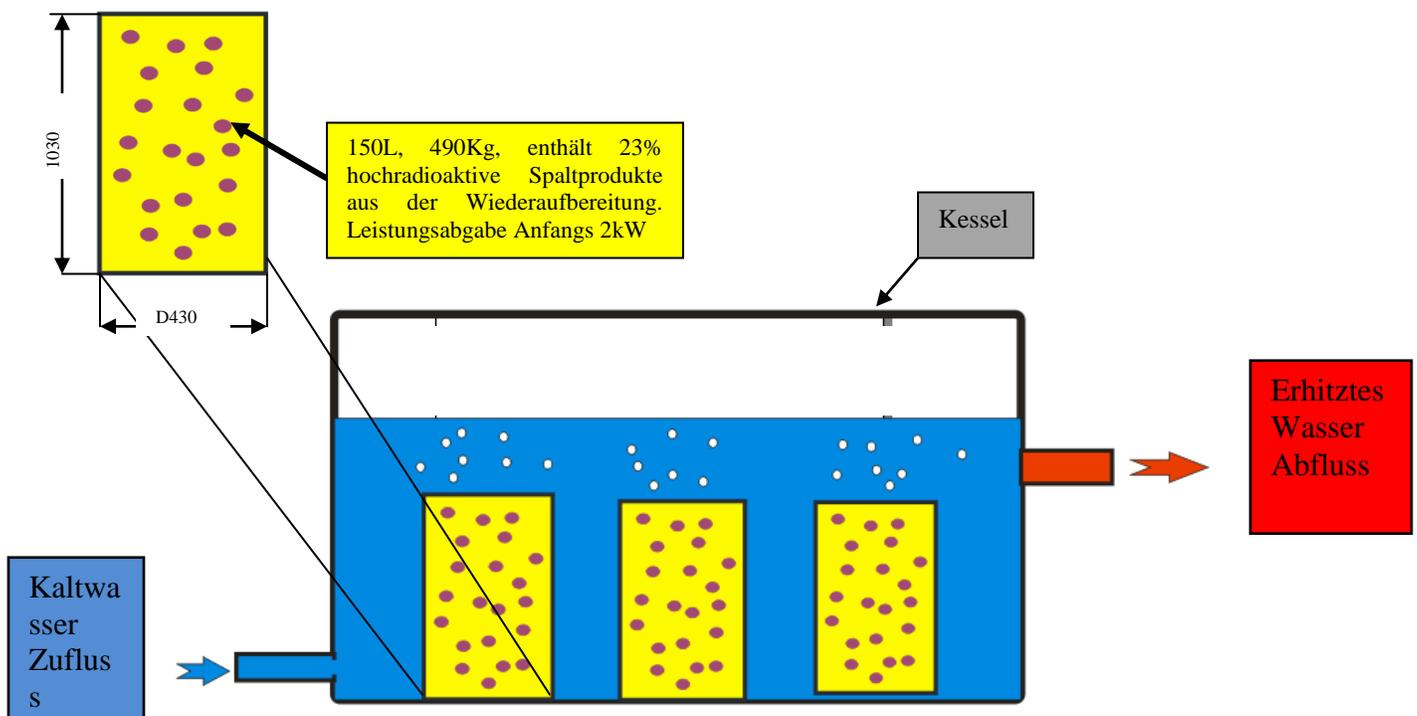
Ein paar weitere Isotope können z.B. in der Messtechnik, zum Einsatz kommen. Aus den Stellite-Rollen der SWR lassen sich ^{60}Co Strahlenquellen fertigen (1) mit denen Gewürze, Obst und Gemüse haltbarer gemacht werden.

Russland berechnet für die Wiederaufbereitung abgebrannten Kernbrennstoffs aus ausländischen Reaktoren, z.B. Bulgarien, 620\$/kg (18). In La Hague, Frankreich werden ausländischen Kunden, z.B. Italien, 1000 €/kg berechnet. (22). Gewonnen werden in der Wiederaufbereitung das Uran und das Plutonium. Bei einem Pu Gehalt des verbrauchten Brennstoffs von 1% ergibt sich bei einem Uranpreis von 66 €/kg, (17) und einem Faktor von 200 für das Reaktorplutonium, $10\text{g} \times 200 = 2\text{ kg}$ Uran, einen Wert für den wieder gewonnenen Brennstoffs von etwa 198 €/kg. Das bedeutet dass die Wirtschaftlichkeit der Wiederaufbereitung derzeit von den Kosten der vermiedenen Atommüllentsorgung abhängt. Die Extrahierung seltener Elemente aus Atommüll steckt in den Kinderschuhen. Die Weiterentwicklung hin zu einer besseren Wirtschaftlichkeit und der besseren Nutzung aller Reststoffe, ist unbedingt erforderlich um die Wiederaufbereitung von Kernbrennstoff wirtschaftlich attraktiver zu machen.

4b. Nutzung hochradioaktiver Abfälle als Wärmequelle

Eine wesentliche Eigenschaft des hochradioaktiven Abfalls ist dessen starke Wärmeabgabe. Ein Block hochradioaktiven Abfalls aus der Wiederaufarbeitung (4J nach der Entnahme aus dem Reaktor) in Frankreich hat einen Durchmesser von 430mm, einen Inhalt von 150L, wiegt 490 Kg und enthält ca. 23% hochradioaktive Abfälle (77% Glasanteil) die in Borsilikatglas eingeschmolzen und mit Edelstahl ummantelt sind. Ein derartiger Block gibt direkt nach der Wiederaufarbeitung bis zu 2 KW Wärme ab (21). Blöcke hochradioaktiven Atommülls können für mehrere Jahre als Energiequelle in anderen nuklearen Einrichtungen, beispielsweise in Anreicherungsanlagen zur Erhitzung des UF_6 , dienen, oder auch für Polarstationen, Militärstützpunkte und Inseln genutzt werden, bis die Radioaktive Wärme weitgehend abgeklungen ist.

Nutzung der radioaktiven Zerfallswärme als Energiequelle

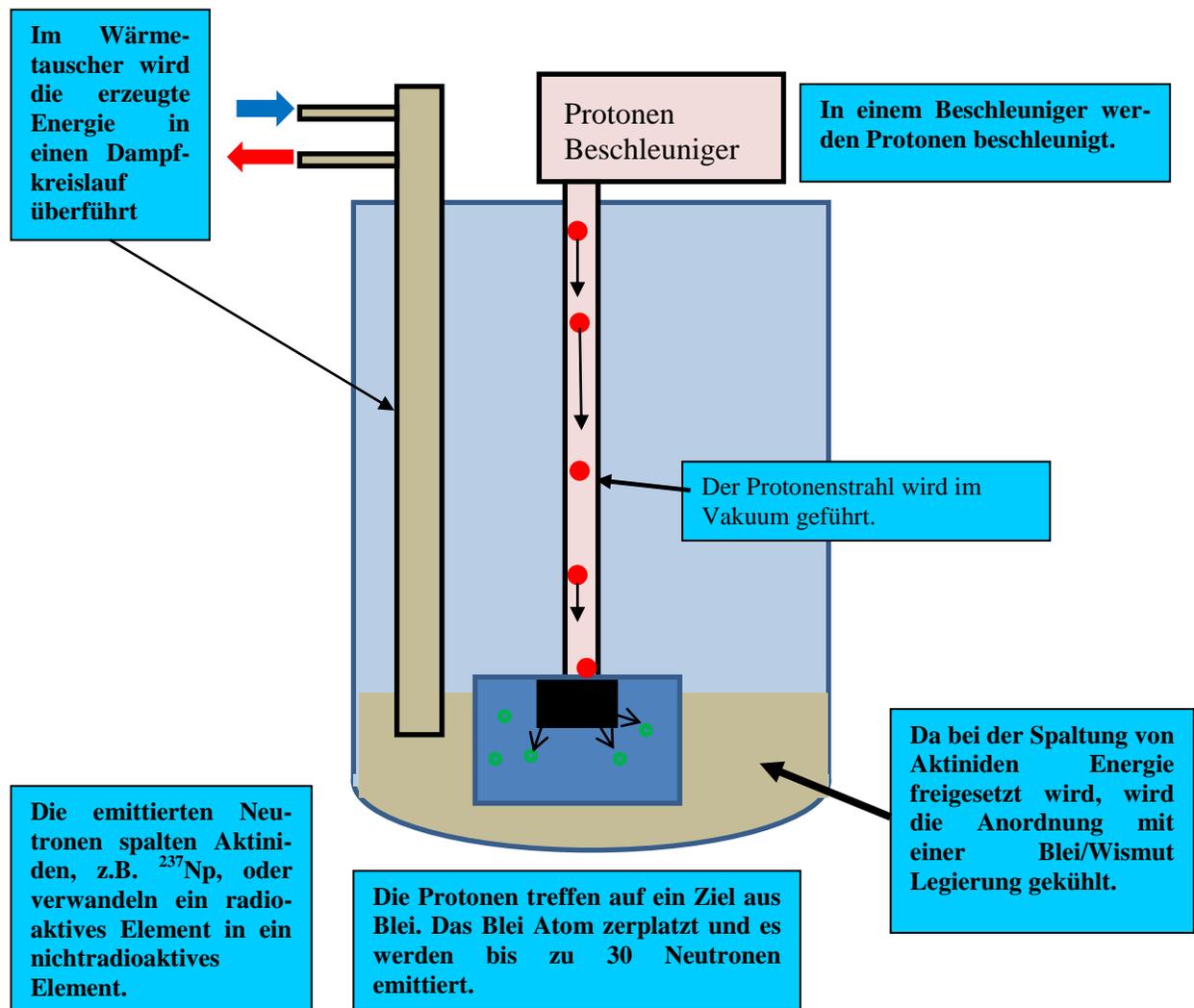


Die radioaktive α und β Strahlung wird durch die Edelstahlhülle der Fässer abgeschirmt. Je nach Größe des Kessels wird auch ein großer Anteil der γ Strahlung vom Wasser des Kessels absorbiert. Als weitere Abschirmung war außerhalb des Kessels eine etwa 50cm dicke Schwerbetonabschirmung (Wand/Decke) vorgesehen.

Die größte Herausforderung ist es bei einer derartigen Nutzung sicherzustellen dass der Müll nicht durch Gotteskrieger gemopst und zur Herstellung schmutziger Bomben verwandt wird.

Der Gedanke an eine derartige Nutzung wurde in den 70er Jahren im Kernforschungszentrum Karlsruhe erwogen. Er wurde jedoch aufgegeben, da eine derartige Energiequelle nicht wirtschaftlich (a) konkurrieren kann, wenn der Müll mit riesigem Aufwand, dem atomrechtlichen Verfahren ausgesetzt, mit staatlich geduldetem Ökologen-Polizisten Prügelspiel (b) zugestellt wird.

5. Deaktivierung des Atommülls durch Mutation der Actinide und Spaltstoffe in nichtradioaktive Elemente



Grundsätzlich kann man die radioaktiven Spaltprodukte und Actinide in die einzelnen Elemente auftrennen und die kritischen Elemente durch Neutronenbeschuss in

nicht-radioaktive Stoffe verwandeln. Die Transurane (*Minore Actinide*), die aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten die größte Herausforderung bei dem aus der Wiederaufbereitung verbleibenden atomaren Restmüll darstellen, lassen sich in der Wiederaufbereitung abtrennen.

Ein schneller Brüter mit seiner hohen Dichte schneller Neutronen ist ideal geeignet um die in Leichtwasserreaktoren gebildeten Actinide (*Transurane*), als Brennstoff zu nutzen. Es gibt Studien bei dem neuem Konzept des SCWFR Reaktors, der sich durch einen hohen Brutfaktor auszeichnet, Targets aus Minoren Actiniden einzubringen (8).

Eine anderer Weg die Minoren Aktinide zu deaktivieren und diese gleichzeitig als Brennstoff zu nutzen sind Beschleuniger, s. Abbildung.

Der Gedanke der Nutzung der Neutronen eines Kernreaktors zur Deaktivierung von Spaltprodukten, oder Neutronen aus einem Neutronenbeschleuniger, s.o. zur Deaktivierung radioaktiver Spaltprodukte ist machbar, ist jedoch sehr aufwendig und eine Verschwendung die der ökoreligiösen Diskussion geschuldet ist.

Es ist eine sehr teure Lösung eines fiktiven Problems. Ein Verschwinden des Atommülls würde keinen Jünger der Ökoreligion von seinem Glauben abbringen.

6. Endlagerung des radioaktiven Mülls

a. Versenken des Atommülls im Meer:

Eine Möglichkeit leicht und mittelradioaktiven Atommüll preisgünstig zu deponieren ist diesen im Meer zu versenken. Die Weltmeere enthalten 70 Mrd. to radioaktives Kalium40 und 4 Mrd. Tonnen radioaktives Uran (*Erläuterung h*), Thorium, Tritium und viele andere radioaktive Stoffe. Man kann sich leicht ausrechnen das die Menschen die Weltmeere nicht mit den geringen Mengen Atommüll kontaminieren können die durch Kernkraftwerke entstehen. Die Engländer hatten bis 1982 den anfallenden Atommüll im Meer versenkt. Auch die Russen haben z.B. ausgediente Atom U-Boote im Weißen Meer versenkt. Derzeit wird lediglich flüssiger Atommüll im Meer entsorgt. Die natürliche Radioaktivität des Meeres von 12 Bq/l (6) kann sich jedoch örtlich erhöhen, wenn dieser unachtsam eingeleitet wird. So wurde einst in der Britischen Wiederaufbereitungsanlage Sellafield der flüssige radioaktive Müll über ein Rohr ins nahe Meer eingeleitet. Im Umfeld der Einleitung ist die Radioaktivität noch heute höher.

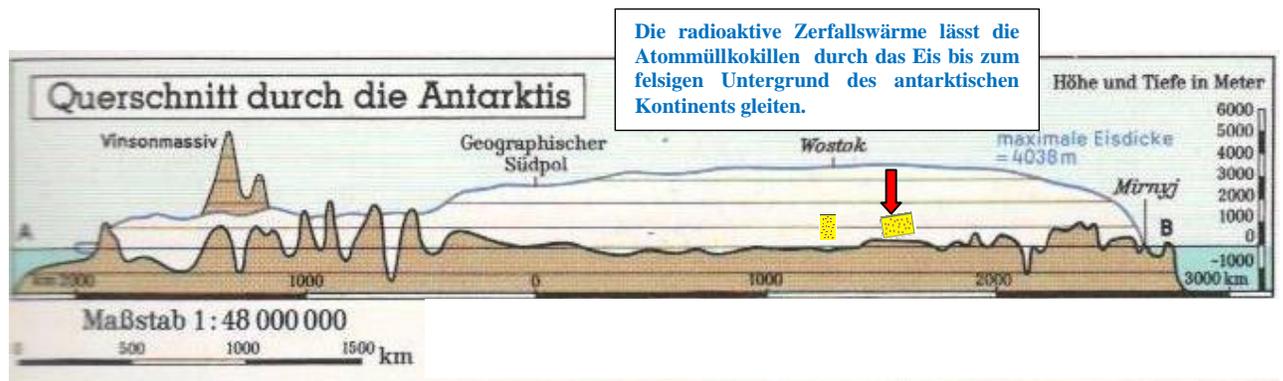
b. Vergraben des Atommülls in der Wüste



Die ausgedehnten Wüsten der Erde bergen zahlreiche Geländefalten die sich mit geringem Ausbau als Endlager für Atommüll anbieten.

Der Kernforscher und Physiknobelpreisträger Heisenberg schlug einst vor den Atommüll mit 3 m Erde zu bedecken. Wenn man dies in der Wüste ohne besondere Grundwasserströme vornimmt, z.B. in einer Senke, ist dies unproblematisch. Der Wüstensand bedeckt den Atommüll innerhalb weniger Jahre meter-dick. Ein Vorteil liegt darin das der Atommüll in einigen 100 Jahren ohne großen Aufwand wieder ausgegraben werden kann und dann Rhodium, Ruthenium und andere Materialien kostengünstig gewonnen werden können. Schwierig ist jedoch die politische Situation in vielen Wüstenstaaten. Terroristen könnten diesen Müll zum Bau schmutziger Bomben nutzen. Verschwörungsgerüchte könnten die politischen Führungen der Länder destabilisieren. Die Nutzung der Wüsten in politisch stabilen, nicht ökoreligiösen Ländern ist ein preisgünstiger, sinnvoller Weg. In diesem Sinne kam in den 80er Jahren eine chinesische Delegation nach Deutschland, die neben einigen Porzellanlöwen auch das Angebot hinterließ den deutschen Atommüll gegen gutes Geld in der Wüste Gobi abzulagern.

c. Deponieren des Atommülls im ewigen Eis



Die Antarktis ist mit einem bis zu 4.000 m dicken Eispanzer versehen. Sofern man den stabil verglasten, mit Edelstahl ummantelten, hochradioaktiven Müll (*der Eisdruck ist enorm*) dort verbringt, wird dieser sich durch seine Wärme mit abnehmender Geschwindigkeit und Radioaktivität durch den Eispanzer schmelzen und irgendwann auf den Fels treffen. Diese Alternative ist elegant und preisgünstig.

Die inländische Durchschnittstemperatur der Antarktis beträgt -55°C . Das antarktische Inlandeis wird auch bei einer signifikanten Erwärmung der Erde durch eine eventuelle Klimaänderung nicht schmelzen. Möglicherweise wird der Kontinent durch die Kontinentaldrift im Laufe von Millionen Jahren an einen wärmeren Platz der Erde wandern.

Die radioaktive Zerfallswärme des Atommülls ist viel zu gering und die Wärmeleitfähigkeit des Eises zu gut, um das Antarktische Inlandeis zu schmelzen (f).

Derzeit ist die Nutzung der Antarktis durch den Antarktisvertrag verboten. Eine Alternative zur Antarktis könnte der Inlandsgletscher Grönlands darstellen.

d. Deponierung des Atommülls Untertage

Die meisten Länder haben sich entschieden ihren Atommüll unter Tage in geologisch stabilen Gebieten in Granit, Ton oder Salz zu lagern. Derzeit sind 16 (7) atomare



Endlager in Betrieb. Dem in Deutschland geplanten und seit Jahrzehnten blockierten Atommüllager in Gorleben ist die WIPP Anlage in New Mexico (23) (USA) am Ähnlichsten.

In einem Salzstock in New Mexiko wird seit 1999 der kritische, Aktinidenhaltige Abfall militärischer Einrichtungen deponiert. Untertagedeponien sind

Das Bild zeigt die Untertage Atommülldeponie WIPP (USA) Bild, Homepage WIPP 2011

teurer und weniger elegant als die oben genannten Verfahren. Stabile Salzstöcke ermöglichen allerdings einen idealen Abschluss der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre über geologische Zeiträume hinweg.

Das Versuchsatomwüllendlager Asse setzte im Umfeld der 60er Jahre Maßstäbe (c). Im

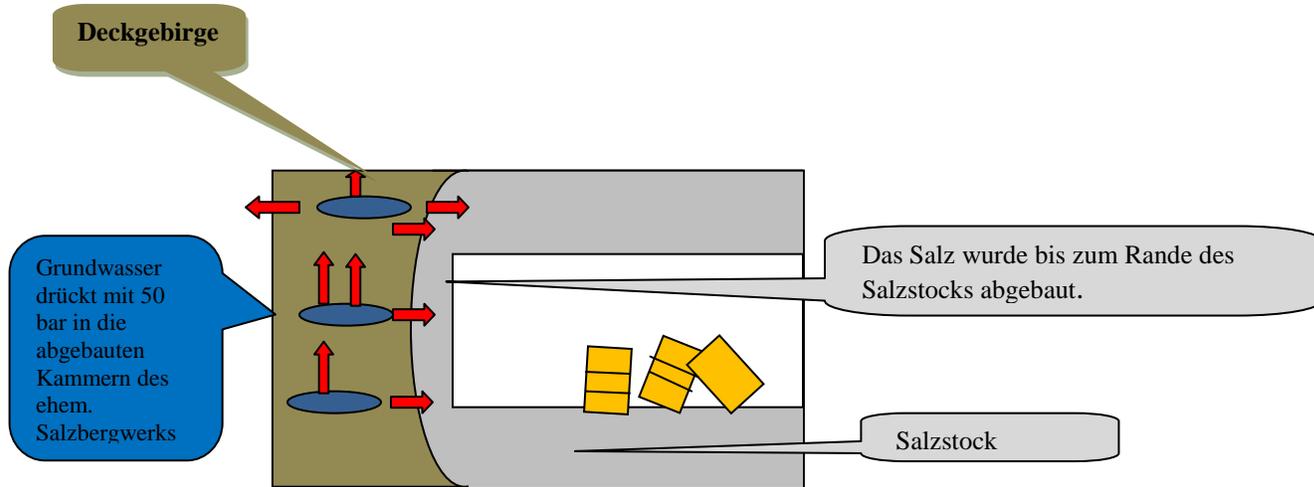


In Dukovany werden heutzutage die Leicht- und Mittelradioaktiven Abfälle Tschechischer KKW endgelagert. Verglichen mit Asse aus den 60er Jahren, wo der Atommüll tief unter den genutzten Grundwasserschichten liegt, ist dieses eher ungünstiger zu bewerten.

Vergleich zur vielfach üblichen Deponierung des Leicht- und Mittelradioaktiven Mülls in Betonwannen, z.B. Frankreich, CSR, ist Asse auch nach heutigen Maßstäben eher übertrieben.

Bild WNN News

Allerdings ist auch Asse nicht perfekt. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde einst der Salzabbau bis an die Ränder des Vorkommens betrieben. Von außerhalb des Salzstocks drückt das Grundwasser mit ca. 50 bar. Die Hohlräume üben keinen Gegendruck aus. Dadurch sickert etwas Wasser in das ehemalige Salzbergwerk. Es wird von 12m³/Tag geschrieben.



Dies ließe sich allerdings beheben indem man die Hohlräume mit weiteren Abfällen verfüllt, oder einfach flutet wie man dies mit vielen ehemaligen Salzbergwerken getan hat. Letztere Maßnahme hätte zur Folge, dass sich das Wasser im Salzstock mit Salz sättigt und dann als Salzlake stabil bleibt. Durch ein Auffüllen, oder Fluten des Salzstocks entfällt die Druckdifferenz und der Salzstock kann dann die gebrauchten Kittel und Handschuhe für geologische Zeiträume einschließen. Die meisten Salzstöcke Deutschlands bergen Laugeneinschlüsse die beispielsweise in Gorleben seit 240Mio Jahren stabil sind. Entscheidend ist, dass keine nennenswerte Wasserbewegung stattfindet die Salz aus dem Salzstock spült und diesen im Negativfall auflöst. Der Salzstock in Gorleben wurde noch nicht genutzt. Insofern entfällt diese Thematik.

Holger Narrog

Erläuterungen

Solarmüll

Auf dem Gelände der kürzlich verkauften Antec Solar Energy AG in Arnstadt lagern 600 Tonnen Sondermüll. Wie Holger Wiemers von der Landesentwicklungsgesellschaft auf Anfrage von MDR 1 RADIO THÜRINGEN sagte, handelt es sich um 35.000 defekte Solar-Module. Diese müssten in einer Sonderdeponie eingelagert werden, weil sie mit giftigem Kadmium beschichtet seien (10). Die Produktion einer derartigen Solarzellenfabrik beträgt 1/100 eines KKW's ausgedrückt als Peakleistung. Da die Durchschnittserzeugung weniger als 10% der Peakleistung beträgt und eine Solarzelle wahrscheinlich etwas mehr als 20 Jahre betrieben werden, kann man das Verhältnis des Problemmülls auf 1/5000 schätzen. (9).

Anbei Bilder der Giftmülluntertage deponie Herfa-Neurode in der jährlich etwa 200.000 to Giftmüll (alle Kernkraftwerke zusammen 20 to/a nach einer Wiederaufbereitung) endgelagert werden, Filterstäube aus Kraftwerken (11), oder [arsenhaltige](#) Abfälle (7) wie sie z.B. bei der Herstellung von Solarzellen auftreten..

a. Die technisch notwendigen Einrichtungen wie ein im Vergleich zu Heizöl größerer Kessel und eine 50cm Betonabschirmung gegenüber der Gammastrahlung ließen sich leicht aus der Brennstoffeinsparung finanzieren.

b Sofern der Staat die Prügelspiele nicht gewollt hätte, hätte man ernsthaft gegen die Organisatoren wie Grüne, BUND usw. als kriminelle Vereinigungen ermitteln können. Regelmäßig wurden Polizeiführer abgesetzt die zu hart mit den Ökologen umgingen.

c Asse wurde als Atommüllversuchsendlager für Leicht- und Mittelradioaktiven Müll 1967 in Betrieb genommen, zu einem Zeitpunkt als man chemotoxische Abfälle schlicht vergraben hat, bzw. ganz andere Maßstäbe an die Entsorgung angelegt hat. Aufgrund dessen, daß man Salz bis nahe an den Rand des Salzstocks abgebaut hatte, mußte mit Laugeneinbrüchen gerechnet werden. Dies war bereits in den 60er Jahren bekannt (28). Durch geschickte Skandalisierung (*Eine Ameise zum Elefanten aufblasen*) ist Asse zum Spektakel geworden anhand dessen die Endlagerung zum Problem erklärt wird.

d Allein der Materialaufwand für die Stromerzeugung aus Windkraftanlagen vs. Kernenergie beträgt ein 37-faches, s. Artikel CO₂ Bilanzen.

e. Ausgehend von einem Außendurchmesser v. 9,5mm und einer Brennstabwandstärke von 0,65mm (EPR) ergibt sich bei Dichten von Zirkaloy von 6,5g/cm³ und Uox von 10,4 ein Gewichtsverhältnis von mU/mZ = $(8.2^2 \times 10.4)/(6.5 \times (9.5^2 - 8.2^2)) = 4.67$. Sofern man die Endstücke, Abstandhalter usw. Hinzufügt erhält man ein Verhältnis von 3:1

f. Wenn man die aus der Wiederaufbereitung stammenden Reststoffe von 400 Kernkraftwerken aus 50 Betriebsjahren in einem Gebiet von 500 x 500Km ablagert, entsprechend 1000 MW Wärmeabgabe (*das Abklingen der Radioaktivität und der Wärme ist hierbei nicht berücksichtigt*), so ist dies verglichen mit der Sonneneinstrahlung von 55W/m² und dem natürlichen Erdwärmestrom (*Hauptanteil ist der radioaktiver Zerfall im Erdinnern*) von 63mW/m², entsprechend 13.750.000 MW vernachlässigbar. Die Eisoberfläche der Antarktis strahlt mehr Wärme in den Weltraum ab, als ihr zugeführt wird.

g. Für den DUPIC Prozess ergeben sich 3 Optionen:

- Die genutzten hochradioaktiven Brennelemente werden zerlegt, die Brennstäbe in 50cm lange Stücke geschnitten und wiederum verschlossen. (25) Üblicherweise enthalten die Brennstäbe eine Feder um die Brennstofftabletten im Brennstab zu positionieren und ein Spaltgasplenum um einen Überdruck zu vermeiden. Somit erscheint mir fraglich ob dieser Prozess so funktioniert. Dieser Prozess, obwohl einfach, erfordert aber auch Investition in eine geeignete Anlage.
- Die genutzten Brennelemente werden zerlegt, der hochradioaktive Brennstoff von den Brennstabhüllen befreit, zu Pulver gemahlen, mit Sauerstoff erhitzt um einen Teil der Spaltprodukte zu entfernen und wiederum zu Tabletten gepresst, in Brennstäbe gefüllt und daraus Brennelemente gefertigt. Dieser Prozess wird in einer Zusammenarbeit von AECL Kanada und der Ukraine entwickelt. (12) Der Prozess erfordert Investitionen in eine geeignete Anlage.
- Die genutzten Brennelemente werden in einer Wiederaufbereitungsanlage in kochender Salpetersäure zersägt, der Brennstoff löst sich in Salpetersäure auf. Uran und Plutonium werden in TBT gebunden und der von Spaltprodukten befreite Brennstoff zur Fertigung von neuen Brennelementen genutzt. Auf die Trennung von Pu und Uran, wie im Purex Verfahren üblich, kann verzichtet werden. Dieser Wiederaufbereitungsprozess ist erprobt, jedoch sehr teuer! (s. Artikel Wiederaufbereitung!)

h. Radioaktive Substanzen im Meerwasser

Gem. Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Meer> ergibt sich das Volumen der Weltmeere zu 1338 Mrd. km³

Gem. Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Kalium> die durchschnittliche Konzentration von Kaliumionen bei 399,1 mg K⁺/kg = 408,4 mg K⁺/l. Der Anteil des ⁴⁰K beträgt 0,012 %. Daraus ergibt sich:

$$1,338 \times 10^{12} \text{ Mrd to} \times 408 \times 10^{-6} \text{ Kg K} \times 0.12 \times 10^{-3} = \mathbf{65,5 \text{ Mrd to } ^{40}\text{K}}$$

Uran hat einen Anteil von 3mg/m³ im Meerwasser resultierend in = 4 Mrd. to Uran.

Der Anteil an Thorium, Radium, Rhadon, wurde nicht berücksichtigt.

Verwendete Quellen:

1. Homepage Fa. Hoefer & Bechtel
2. Kernenergie u. Kerntechnik Lothar Lüscher
3. Abbildung aus "Will time heal every wound?" (Monitor 17), Swedish Environmental Protection Agency. (Das Buch ist über [Miljobokhandeln](#) erhältlich)
4. Referat Prof. Horst Michael Prasser ETH Zürich gehalten am 29.05.08 in Lausanne
5. Uran limitierender Faktor für die Kernenergie Ohnemus Gronau 2006
6. Umweltradioaktivitaet. und Strahlenbelastung BMU Jahresbericht 2001 * gem. Diesem Bericht liegt die Radioaktivität des Meerwassers bei 12 Bq/l.
7. Wikipedia
8. CORE DESIGN ANALYSIS OF THE SUPERCRITICAL WATER FAST REACTOR
Dissertation von Dr. Ing. Magnus Mori
9. Gegenwärtig verfügt die *Antec Solar Energy AG* am Produktionsstandort *Arnstadt* über 10 Megawatt (MW) Produktionskapazitäten. Der thüringische Standort bietet
www.solarserver.de/solarmagazin/artikelmai2005.html - 36k - [Im Cache](#) - [Ähnliche Seite](#)
10. <http://www.mdr.de/mdr1-radio-thueringen/nachrichten/5616073.html> 26. Juni 2008, 18:44 Uhr
11. <http://www.ks-entsorgung.com/standorte/neurode.cfm>. Homepage Zugriff vom 23.11.08
12. http://www.world-nuclear-news.org/C-Canadian_technology_agreement_with_Ukraine-3005084.htmlCanadian technology agreement with Ukraine
xx
13. Köster, S.: Relevante Abfallströme für eine Immobilisierung, Tagungsband des 15. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft im Dezember 2002
14. <http://www.sueddeutsche.de/wissen/647/301644/text/> SZ Wissen 12/2006 (20.10.2006)
15. Strahlenschutzpraxis (Zeitschrift) Ehrlich, Dietrich/ Schulze, Hartmut/ **Schlagwort(e)**Endlagerung konventionelle Abfälle radioaktive Abfälle **Heft/Jahr**4/2003**Seite/Seitenzahl**61/5
16. **Mangel an medizinisch verwendbaren Isotopen**
<http://www.faz.net/s/Rub163D8A6908014952B0FB3DB178F372D4/Doc~EA5DB2811D170481BBDFCBBF3F4A18296~ATpl~Ecommon~Scontent.html> 17.02.09

17. http://www.uxc.com/review/uxc_Prices.aspx UxC Nuclear Fuel Price Indicators (Delayed) Zugriff v.25.02.2010 , Preis U_3O_8 66,16 €/Kg

18. <http://www.world-nuclear.org/info/inf87.html> World Nuclear Organization Nov08

19. <http://www.metal-pages.com/metalprices/>

Zugriff 26.03.2010

1 Tr Oz = 31,1g → 1 KG Rhodium 88424\$ = 65499 €

20. <http://en.wikipedia.org/wiki/Technetium> 18.02.09

21. FZKA6651 Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, Endlagerrelevante Eigenschaften von hochradioaktiven Abfallprodukten, Bernhard Kienzler, Andreas Loida, 2001 S64 des Dokuments

22. Areva Pressemitteilung 09.05.07

http://www.aveva.com/servlet/news/pressroom/pressreleases/cp_07_05_2007-c-PressRelease-cid-1177488959131-p-1140584426338-en.html

23. Homepage von WIPP <http://www.wipp.energy.gov/> U.S. Department of Energy
4021 National Parks Highway Carlsbad, New Mexico 1-800-336-WIPP Zugriff 16.08.09
Atomüllendlager der USA für den in militärischen Anlagen anfallenden hochradioaktiven Müll, als Pilot Plant deklariert.

24. <http://www.lahague.aveva-nc.com/aveva-nc/liblocal/docs/download/Usine%20de%20la%20hague/LH-usine-la-hague-DT-6-en.pdf>

25. Processing of Used Nuclear Fuel, WNA, oct 09, <http://www.world-nuclear.org/info/inf69.html>

26. <http://www.metal-pages.com/metalprices/neodymium/>

100\$/Kg Zugriff 22.10.2010

95\$/Kg = 68 €/Kg

27. Silber .de <http://www.silber.de/silberpreis.html>

22.10.2010

1 Tr Oz = 31,1g → 1 Kg = 748\$/Kg oder 535 €/Kg

28. http://www.strom-magazin.de/strommarkt/endlager-papst-moegliches-absaufen-der-asse-schon-lange-bekannt_27208.html

06.11.2009, 14:21 Uhr

"Endlager-Papst": Mögliches Absaufen der Asse schon lange bekannt

29. <http://www.ebullionguide.com/price-chart-ruthenium-last-6-months.aspx> Zugriff
26.03.2010 190\$/oz entspricht 4540 €/Kg

30. WNN News 24.03.2010 http://www.world-nuclear-news.org/ENF-Chinese_reactor_trials_Candu_fuel_reuse-2403101.html
