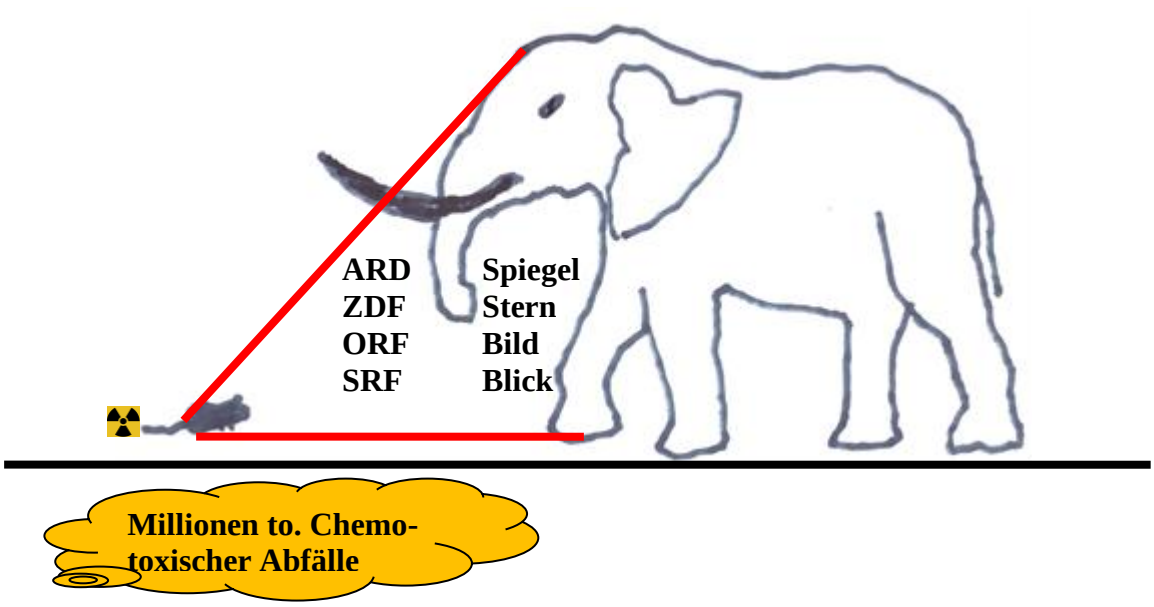
Holger Narrog 18.09.2025

# Atommüll ein Problem?

*Wie man aus einer Maus einen Elefanten macht*




Üblicherweise würzen die Medien ihre Berichte über Atommüll mit undefinierten Hinweisen auf Gefahren und Gefährlichkeit. Die Fantasie des Publikums wird angeregt. Die Urangst der Menschen vor vergiftetem Wasser wird angesprochen. NGO und Politiker heizen diese Fantasien an. Gerne werden MA in Vollschutzanzügen gezeigt, oder Transporte die von zig-Polizisten begleitet werden. Vergleiche mit chemotoxischen Abfällen, oder den Abfällen die bei der Herstellung dreckiger Windmühlen und Solar Panels anfallen, unterbleiben.

## 1a. Vergleich radioaktive Abfälle mit chemotoxischen Abfällen

Derzeit werden jährlich bis zu 200.000 Tonnen Arsen-, Zyanid-, Dioxin- und Furanhaltiger Sonderabfälle im ehemaligen Kalisalzbergwerk Herfa-Neurode eingelagert(**14**). Dazu kommen Filterstäube aus Verbrennungsanlagen die im ehemaligen Kali-Salzbergwerk Teutschenthal eingelagert werden. Die Filterstäube enthalten Schwermetalle wie Quecksilber, Uran, Cadmium usw. Um die Jahrtausendwende gab es eine Arbeitsgruppe aus Toxikologen und

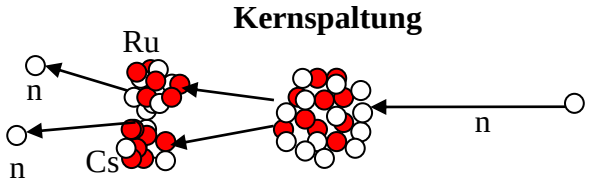
Strahlenschützern. Bevor diese durch den grünen BMU Trittin aufgelöst wurde stellte diese fest.. *Langfristig, d. h. in der Nachbetriebsphase ist das Gefährdungs-Potenzial der radioaktiven Abfälle bzw. Endlager niedriger als das der chemotoxischen Abfälle bzw. einer UTD (Untertagedeponie)..... Es besteht eine Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Risiko und der Risikowahrnehmung in der Öffentlichkeit.* Aus Strahlenschutzpraxis (15).

Die **Solarindustrie** arbeitet mit sehr energie- und umweltintensiven Prozessen. Zur Herstellung von Solarsilizium wird eine Mischungen aus Quarzsand und Kohle in Niederschachtöfen $SiO_2$ + 2C -> Si + $CO_2$ zu Silizium reduziert. Das Silizium wird dann zur Reinigung mit Salzsäure in Trichlorsilan Si + 3 HCl -> SiHCl3 + H2 überführt und dann bei 1100°C mit Wasserstoff H2 in Silizium rückumgewandelt. Abseits einiger Ausrutscher (g) findet man keine systematischen zum Giftmüllanfall der Solartechnik. Mit der Verlagerung dieser Industrie nach China ist es nicht sinnvoll möglich den -sehr hohen - Giftmüllanfall zu quantifizieren.

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 (0,00000004g/KWh Anfall von Spaltprodukten) und der weitgehenden Wiederverwertbarkeit ist das Müllproblem wesentlich geringer als bei Kohle, Wind und Sonne.

**Anfall von radioaktiven Abfällen** Ein erheblicher Teil der radioaktiven Abfälle wird außerhalb von Kernkraftwerken in der Medizintechnik, Technik, Laboren, Geothermie und bei der Erdöl- und Gasgewinnung erzeugt. Der größte Teil dieser Nicht – Kernreaktor Abfälle ist Leichtradioaktiv.

**b. Anfall von radiotoxischen Abfällen in Kernkraftwerken**




Bei einer Kernspaltung wird eine Energie von etwa 200 MeV freigesetzt.

**b1 Spaltprodukte** Die Spaltung von 1 Kg 235U liefert daher etwa 950 MWd (Megawatt-Tage) = 22800 MWh thermische Energie, entsprechend 2700 to Kohle, oder 0,00000004g/KWh. Dabei wird 1g (E = mc2) in Energie verwandelt und 999g in radioaktive Nuklide. **Das ist abseits von Wunderreaktoren unabhängig vom Reaktortyp.**

**b2 Höhere Aktinide** Da nicht jeder Neutroneneinfang in spaltbaren Nukliden zu einer Kernspaltung führt, bauen sich **höhere Aktinide** auf. Z.B. entsteht durch Neutroneneinfang aus U235 -> U236 ->Np237->Pu238, oder U238->Pu239->Pu240->Pu241->Pu242. Im Beispiel des Druckwasserreaktors s.u. entstehen neben 1100Kg Spaltproduktoxiden 29 Kg höhere Aktinide,

oder 0,000000001mg/KWh. Bei Reaktortypen mit härterem Neutronenspektrum beträgt der Aufbau höherer Aktinide ein Bruchteil dieser Menge.

**Beispiel Druckwasserreaktor:** Ein typisches Leichtwasserkernkraftwerk, ein Druckwasser-reaktor, ist mit etwa 100 Tonnen leicht angereicherten Uran *(Oxid)* beladen. In einem Jahr erzeugt ein derartiges Kraftwerk bei 33% netto 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**

**20,9 to Uran,** entsprechend **23,6 to** Uranoxid, Isotopenzusammensetzung z.B. 0,68% U235, 0,58% U236, Spuren U234, Rest $^{238}$U*
**240 kg Plutonium**, entsprechend **272 Kg** Plutoniumoxid, Zusammensetzung: 3% Pu238, 50% Pu239, 26% Pu 240, 13% Pu241 u. 8% Pu242*

**Atommuell teilweise nutzbar**

**1100 kg Spaltprodukte** incl. Sauerstoff (*Oxide*) davon
830 Kg Stabile Spaltprodukte, z.B. 24 Kg Molybdän 95 (*Keine Radioaktivität*)
39 kg Caesium137, Halbwertszeit 30,2J, Strontium90 Halbwertszeit 28,1J, Jod
24 kg Technetium, 30 kg langlebige Spaltprodukte

**Als Brennstoff in Brütern nutzbar**

**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)

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

Vergleichsweise entspricht dies der Energiemenge von 3 Millionen Tonnen Steinkohle, bzw. 400.000 Tonnen giftiger Asche und Filterstäube die als Rückstände der Verbrennung anfallen.

**b3 Weitere radioaktive Abfälle im Betrieb** Zu dem oben genannten hochradioaktiven Abfall eines Kernkraftwerks kommen noch 9 Tonnen **(**Erläuterung **e)** Strukturmaterial, in erster Linie die Brennstabhüllen die zusammen mit dem Brennstoff anfallen und 50 $m^3$ (*konditioniert*) leicht u. mittel-radioaktive Abfälle, wie gebrauchte Kittel, Handschuhe, u.v.m.

**c4 Rückbau Schrott** Abseits der Kernspaltung wird der Primärkreislauf des Kernkraftwerks im Lauf der Jahrzehnte seines Betriebs durch radioaktive Nuklide und Neutronenaktivierung aktiviert. Es gibt Filter und Verzögerungsstrecken in denen die Abluft gefiltert wird. Auch dort fällt etwas radioaktiver Abfall an. Beim Rückbau fällt dann neben 300.000to Beton, Stahl, Kupfer etwa 3000to größtenteils leichtradioaktiver Schrott an. Bauaufwand Ein Kernkraftwerk, z.B. ein AP1000 Reaktor besteht aus 300.000 to Beton, Stahl, Kupfer usw. Dazu kommt im Laufe eines 80-jährigen Betriebs 1660to auf 4,5% angereicherten Urans,

bzw. 13300 to Uran (met.) und geschätzt 20.000to Betriebsmaterialien, Reparaturmaterialien. Das entspricht 0,4g/KWh.

**Bauaufwand** Ein Kernkraftwerk, z.B. ein AP1000 Reaktor besteht aus 300.000 to Beton, Stahl, Kupfer usw. Dazu kommt im Laufe eines 80-jährigen Betriebs 1660to auf 4,5% angereicherten Urans, oder 13300 to Uran (met.) und geschätzt 20.000to Betriebsmaterialien, Reparaturmaterialien an. Das entspricht 0,4g/KWh.

Bei umweltschädlichen Windmühlen fallen im Beispiel eines Windparks mit 4 x 2MW Windmühlen, einer Jahreserzeugung von 16,5 GWh/Jahr, 20 Betriebsjahren, 1800to/Windmühle ein 55-faches der Menge an Beton, Stahl und Kupfer an. Wenn man den Zufallsstrom mit 1/3 des Wertes annimmt, ist es ein 165 -facher Materialaufwand.

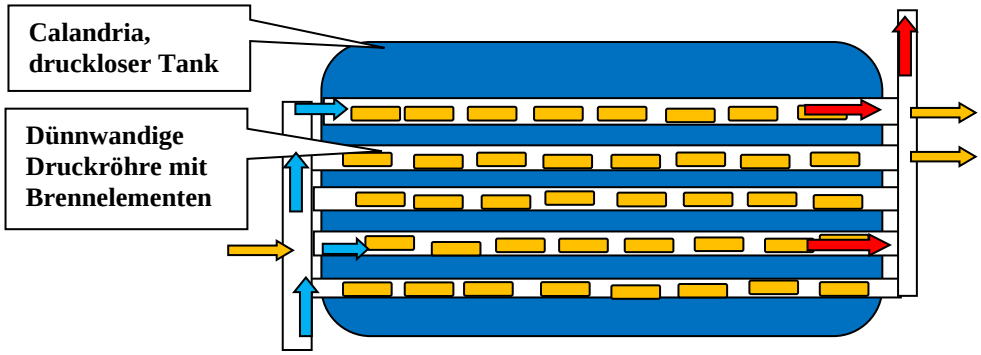
## 2. Recycling, oder Nutzung des abgebrannten Kernbrennstoffs

Der **Brennstoffwert eines Kg LWR Plutoniums** *(70$/lb U3O8, 12$/Kg Conversion, 110$/SWU Urantrennarbeit)* liegt in einem Schnellen Reaktor **54.000$**, in einem Leichtwasserreaktor etwa 4**0.000$ (a)**. Im genannten Beispiel enthält der abgebrannte Kernbrennstoff eines Jahres eines KKW 240 Kg Plutonium in einem Wert von 13, bzw. 7,2 Mio. $. Der abgebrannte Kernbrennstoff enthält mit 0,68% U235 fast soviel für thermische Neutronen spaltbares U235 wie Natururan. Viele der Spaltprodukte sind gleichfalls sehr wertvoll. Der wirtschaftliche Wert des abgebrannten Kernbrennstoffs ist es wert eine weitere Nutzung anzustreben. **Im Gegenzug werden dadurch die hoch radioaktiven Abfälle auf einen Bruchteil der Brennstoffmenge konzentriert.**

**a. Der DUPIC (D**irect **U**se of used **P**WR fuel **i**n **C**andu Reactors**) Prozess**

CANDU Reaktoren sind Druckröhrenreaktoren die mit dem sehr viel effektiveren Schweren Wasser als Moderator betrieben werden. Schweres Wasser bremst Neutronen weniger stark als leichtes Wasser, aber absorbiert viel weniger Neutronen beim Abbremsen. Dadurch kann ein CANDU Reaktor mit Kernbrennstoff betrieben werden der für Leichtwasserreaktoren abgebrannt ist. Der andere Vorteil des CANDU Reaktors liegt darin, dass man den Brennstoff während des Betriebs wechseln kann. Dadurch kann man den Reaktor auch mit geringen Abbränden ohne teure Betriebsunterbrechungen fahren. CANDU Reaktoren sind in Kanada, Indien, Rumänien, Korea und China im Einsatz.

**CANDU Reaktor Prinzip**




**Der Reaktorbehälter des CANDU Reaktors – Calandria - ist ein druckloser, mit schwerem Wasser gefüllter Tank. Darin verlaufen dünnwandige Druckröhren in denen die Brennelemente platziert sind und mit schwerem Wasser gekühlt werden. Das erhitzte Wasser wird in Dampferzeuger geleitet wo das erhitzte Wasser seine Energie an einen Sekundärkreislauf (leichtes Wasser) abgibt.**

**Schweres Wasser ist der beste Moderator. Dadurch kann der Reaktor mit Natururan betrieben werden und Kernbrennstoff der für Leichtwasserreaktoren abgebrannt ist, weiter abgebrannt werden.**
**Die Brennelemente werden während des Betriebs mit einer Lademaschine geladen und entladen. Deshalb führen Brennelementwechsel nicht zu Betriebsunterbrechungen. Deshalb sind diese Reaktoren ideal geeignet waffenfähiges Plutonium zu erbrüten.**

Technisch gesehen gibt es 2 aussichtsreiche Möglichkeiten abgebrannten Kernbrennstoff von Leichtwasserreaktoren in CANDU Reaktoren zu nutzen.

**1.** Die abgebrannten Brennelemente eines Leichtwasserreaktors werden nach einer 5-jährigen Lagerung im Abklingbecken als Brennstoff für CANDU Reaktoren genutzt. Die Brennelemente von CANDU Reaktoren sind kleiner und vor allem kürzer als die der Leichtwasserreaktoren. Eine Möglichkeit ist einen CANDU Reaktor mit Druckröhren und Lademaschinen passend für die Brennelemente von Leichtwasserreaktoren zu bauen. Dies ist bei einem Kernkraft Neubau möglich. Noch besser ist es beim Neubau von Kernkraftwerken die Brennelementkonfiguration von LWR und CANDU aufeinander abzustimmen. Die dünnen Druckröhren von CANDU Reaktoren sind nach gut 30 Betriebsjahren durch Neutronenbeschuss versprödet. Dann werden die CANDU Reaktoren Grundüberholt (Refurbished). Dabei wird der Reaktorbehälter, Dampferzeuger, Mess- und Regeltechnik ausgetauscht. Dabei lässt sich ein neuer Reaktorbehälter mit passenden Druckröhren und Lademaschine bauen. Dadurch lässt sich der Brennstoff um weitere 5 – 7 MWd/Kg, etwa 10% weiter abbrennen.

**2**. Die Brennelemente des Leichtwasserreaktors werden in einer Wiederaufbereitungsanlage zerschnitten. Der Brennstoff wird in Salpetersäure aufgelöst. Aus der Nitratlösung wird in einer Solventextraktionsanlage Uran und Plutonium zusammen in das organische Lösungsmittel TBP Tributylphosphat (*gelöst in Kerosin*) überführt. Die Uran-Plutoniummischung wird extrahiert und in $UO_2/PuO_2$ überführt. Das $UO_2/PuO_2$ wird in Tablettenform gesintert und in CANDU Brennstäben gefüllt. Da bei dieser Prozessvariante die neutronenabsorbierenden Spaltprodukte entfernt werden lässt sich der Brennstoff um weitere 10 – 12 MWd/Kg, etwa 20%, abbrennen.

Umsetzung: In **China und Südkorea** sind die CANDU Reaktoren Exoten inmitten einer großen Flotte von Leichtwasserreaktoren. Die CANDU Reaktoren dienen in Südkorea spekulativ dazu Schattenatommacht zu sein und im Fall eines Wegfalls des US-Atomschutzschirms innerhalb einiger Monate große Mengen waffenfähiges Plutonium zu produzieren um dem „Bruder“ im Norden nicht hilflos ausgeliefert zu sein. China hat umfangreiche Tests vorgenommen (30). Dennoch scheint das Interesse an DUPIC dort begrenzt zu sein.

Die **USA** besitzen fast 100 kommerzielle Leichtwasserkernkraftwerke. **Kanada** betreibt mehr als ein Dutzend CANDU Reaktoren. Es gab während der Zeit vor Trump I intensive Projektvorbereitungen durch AECL zur Variante 1. Hauptdiskussionspunkte waren der Verbleib des abgebrannten Kernbrennstoffs und die Kosten. Mit der Präsidentschaft von D. Trump II ist eine solche Zusammenarbeit in eine unbestimmte Ferne gerückt.

**Indien** betreibt eine Flotte von 20 PHWR (CANDU) Reaktoren. Indien betreibt auch Leichtwasserreaktoren russischer Bauart und baut weitere hinzu. Indien verfügt über mehrere sehr kleine Wiederaufbereitungsanlagen die üblicherweise den Brennstoff aus den heimischen CANDU Reaktoren aufarbeiten und nicht unter IAEA Safeguard stehen. Indien hat sich verpflichtet 2 weitere Wiederaufbereitungsanlagen die unter IAEA Safeguard stehen, darunter die BARC Anlage in Tarapur zu bauen. In dieser Anlage wird der Brennstoff aus den russischen Leichtwasserreaktoren aufgearbeitet. **Damit wird Indien sehr wahrscheinlich in Kürze** *(die meisten indischen Nuklearprojekte erfahren lange Verzögerungen)* **den DUPIC Prozess Variante 2 realisieren.**

## b. Weitere Nutzung des Kernbrennstoffs durch Wiederaufarbeitung (*Recycling)*

Der abgebrannte Kernbrennstoff enthält viele wertvolle Stoffe. In der Wiederaufbereitung gilt es die Wertstoffe zu trennen und in eine nutzbare Form zu überführen anstatt diesen als gefährlichen Müll zu hinterlassen.

**Technik des PUREX Prozesses**

**Schritt 1:** In der Wiederaufbereitungsanlage werden die Brennelemente der Kernkraftwerke mit einer Bündelschere in 35mm lange Stücke geschnitten.

**Schritt 2:** Diese Stücke werden in 95° heißer Salpetersäure $HNO_3$ aufgelöst wobei die Brennstabhüllen zurückbleiben.

**Schritt 3:** Aus der Nitratlösung mit einer Konzentration von 250 g Uran pro Liter wird in einer Solventextraktionsanlage Uran und Plutonium zusammen in das organische Lösungsmittel TBP Tributylphosphat (gelöst in Kerosin) überführt. Durch mehrfache Durchführung der Extraktionszyklen kann eine fast vollständige Trennung der Bestandteile erreicht werden. Durch

Dekantieren wird die organische Schwermetallösung von der wässerigen Lösung der Spaltprodukte abgetrennt. Die höheren Aktinide verbleiben größtenteils in der wässrigen Phase.

**Schritt 4:** In der organischen Phase wird das Plutonium chemisch mit $Fe(SO_3NH_2)_2$ von der vierwertigen zur dreiwertigen Stufe reduziert, die in Tributylphosphat unlöslich ist; so kann das Plutonium selektiv in eine salpetersaure Lösung überführt werden. Dieser Prozess wird mehrfach wiederholt. Schließlich wird es als Oxalat ausgefällt, das man zu Plutoniumdioxid calciniert und in den Auflöser transferiert. Trennschärfe des Gesamtprozesse: Uran 99,9%, Plutonium 99 – 99,9% (20).

**Schritt 5:** Die Reststoffe/Spaltprodukte werden mit Borsilikatglas gemischt in Edelstahlbehältern abgefüllt.

Das gewonnene Plutonium wird mit gewonnenem Uran zu sogenannten Mox Brennelementen verarbeitet die wiederum in Kernkraftwerken eingesetzt werden. Es verbleibt Uran das gelagert wird und im o.g. Beispiel 4% hochradioaktive Spaltprodukte. Die Strahlung der Reststoffe ist bei einer Abtrennung der höheren Aktiniden nach 1000 Jahren auf das Niveau von Uranerz abgeklungen.

Japan betreibt eine Wiederaufarbeitungsanlage in Rokkasho wo der abgebrannte Kernbrennstoff aus japanischen Kernkraftwerken wiederaufbereitet wird. Frankreich betreibt eine Wiederaufbereitungsanlage in La Hague wo der abgebrannte Kernbrennstoff aus französischen KKW aufbereitet wird. Russland betreibt eine Wiederaufbereitung in Majak wo man auch den Kernbrennstoff ausländischer Kunden wiederaufbereitet. China liebäugelt seit mehr als 10 Jahren mit dem Kauf einer Wiederaufbereitungsanlage ähnlich La Hague in Frankreich, betreibt eine größere Versuchsanlage. Indien betreibt mehrere kleine Anlagen die aber nicht von der IAEA inspiziert werden dürfen. Großbritannien hat seine Wiederaufbereitungsanlage in Sellafield stillgelegt.

Aufgrund der verwendeten preiswerten Chemikalien wie Salpetersäure, TBT, Kerosin auf der Kostenseite und der teuren Wertstoffe wie Plutonium und Uran auf der Ertragsseite sollte man meinen das die Wiederaufbereitung sehr profitabel sei.

Gemäß mittlerweile gelöschter Quellen aus den 0er Jahren hat Russland z.B. Bulgarien, 620$/kg und La Hague, Frankreich z.B. Italien, 1000 €/kg für die Wiederaufbereitung berechnet. Diese Kosten haben sich mit der Geldentwertung erhöht. **Damit ist die Wiederaufbereitung abseits sehr hoher vermiedener Entsorgungskosten aktuell nicht wirtschaftlich.**

Spekulativ arbeiten die kleinen, indischen Anlagen nahe, oder über der Rentabilitätsschwelle. **Meines Erachtens bietet es sich an die hohen Auflagen, Zertifizierungs- und Dokumentationsvorschriften der Wiederaufbereitung in Frankreich auf ein sinnvolles Maß zu reduzieren. Es bietet sich an die Anzahl der Wiederholungen der Schritte 3 und 4 zu Lasten der Trennschärfe zu reduzieren um die Wiederaufbereitung wirtschaftlich zu machen. Langfristig, mit einer stärkeren Automatisierung der Prozesse, wird die Wirtschaftlichkeit der Wiederaufbereitung verbessert.**

Man kann dies mit dem Recycling der Windmühlenflügel vergleichen. Die Flügel bestehen aus Faserverstärkten Epoxy-Harzen. Monomer ist Bisphenol-A das eine hormonelle Wirkung hat und bereits im µg Bereich kritisch ist. Auch dort gibt es die Möglichkeit diese zu zerkleinern und in den Drehrohröfen der Zementindustrie rückstandsfrei zu verbrennen. Allerdings wird dies in den wenigsten Ländern praktiziert. Deshalb werden Millionen Tonnen Gifmüll vergraben.

## c. Mögliche Nutzung der verbleibenden Reststoffe aus der Wiederaufbereitung

Gem. einer ICP-MS Analyse von mehreren Brennstäben eines 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 243000$/**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 28.000$/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 1220$/**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.
**Sr90** Radioaktiv, Strontium wird in Radionuklidbatterien als Stromquelle genutzt
**Nd 143, 145, 148** Gesamtmenge der Isotope **54** kg. Der Preis von 147$/**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

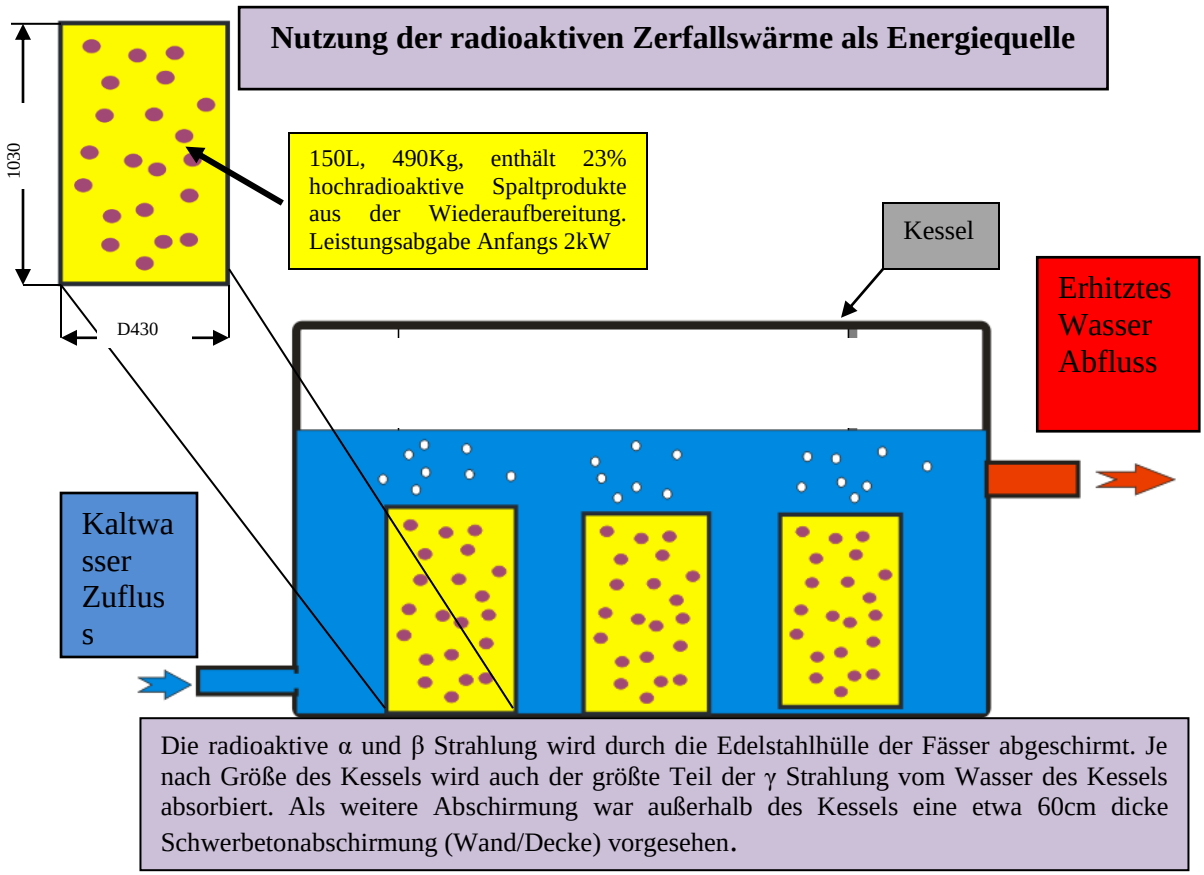
Ein paar weitere Isotope können z.B. in der Messtechnik, zum Einsatz kommen. Aus den Stellitrollen der SWR lassen sich $^{60}$Co Strahlenquellen fertigen (**1**) mit denen Gewürze, Obst und Gemüse haltbarer gemacht werden.

**Die Nutzung der Spaltprodukte ist, obgleich diese gleichfalls teilweise sehr wertvoll sind bislang nicht über Laborversuche hinausgekommen.**

## d. Nutzung hochradioaktiver Abfälle aus der Wiederaufbereitung als Wärmequelle

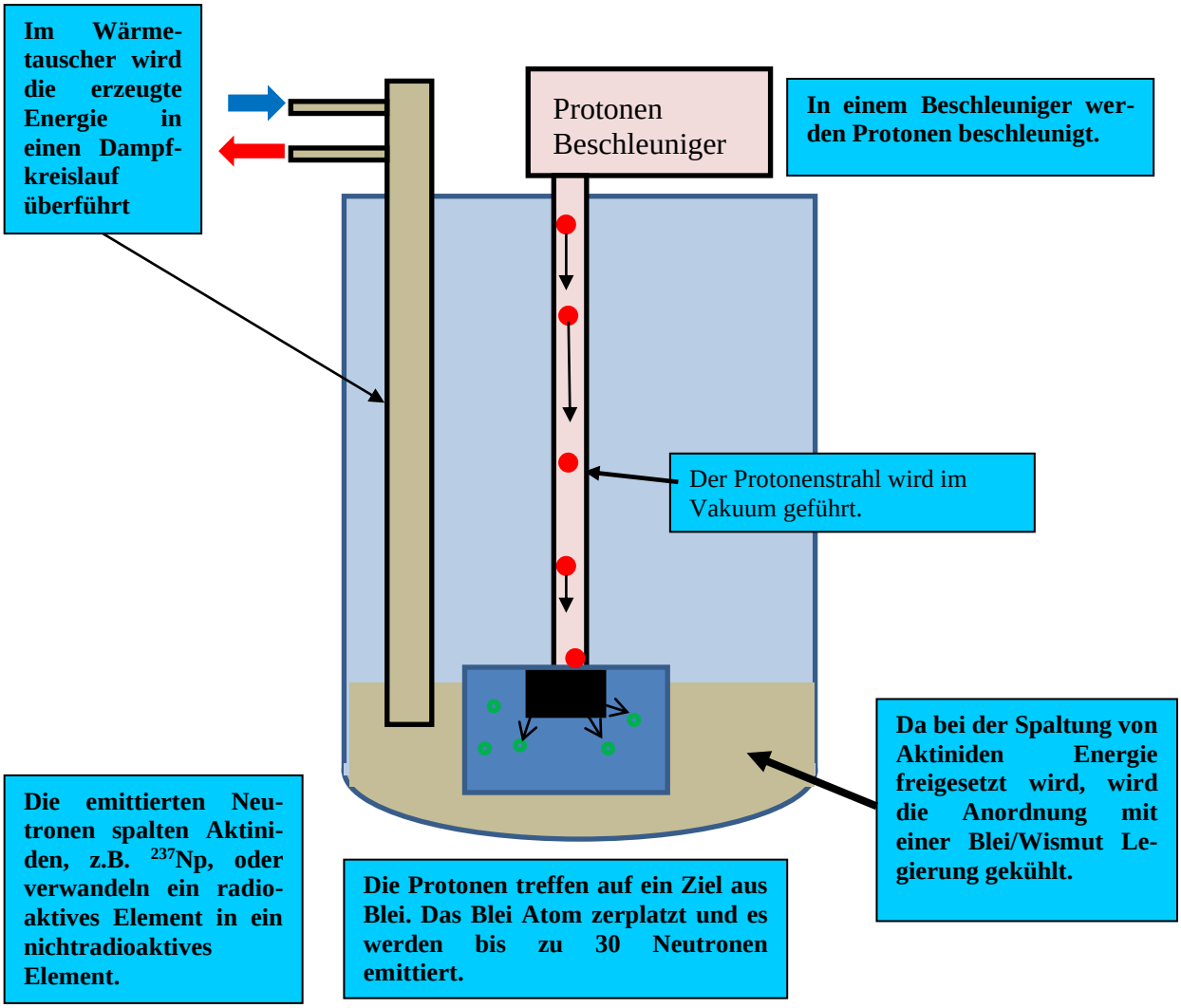
Eine wesentliche Eigenschaft des hochradioaktiven Abfalls ist dessen starke Wärmeabgabe.
Ein Block hochradioaktiven Abfalls aus der Wiederaufarbeitung (*4J nach der Entnahme aus dem Reaktor*) in Frankreich hat einen Durchmesser von 430mm, einen Inhalt von 150L, wiegt 490 Kg und enthält ca. 23% hochradioaktive 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 polaren Inseln genutzt werden, bis die Radioaktive Wärme weitgehend abgeklungen ist.




Die größte Herausforderung ist es bei einer derartigen Nutzung sicher zu stellen 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.

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




Grundsätzlich kann man die radioaktiven Spaltprodukte und Actiniden in die einzelnen Elemente auftrennen und die kritischen Elemente durch Neutronenbeschuss in nichtradioaktive 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 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 Gläubigen der Ökoreligion von seinem Glauben abbringen**.

Ich vermute die Zukunft der Kerntechnik wird irgendwann zu Schnellen Chlorsalzschmelzereaktoren führen. Solche Reaktoren haben ein sehr hartes Neutronenspektrum, erzeugen kaum höhere Aktinide, haben sehr hohe Brutraten womit alle Aktiniden gespalten werden. Abgereichertes Uran – mehr als 1 Mio. to. eingelagert – sind ideal für den Brutbereich, Reaktorplutonium und Reaktoruran sind ideale Brennstoffe in der Spaltzone. Die Edelmetalle (Ru, Rh, Pd, Ag, Mo) müssen zusammen mit den Edelgasen regelmäßig entfernt werden um Ablagerungen zu verhindern. CsCl und $SrCl_2$, $RbCl_2$ können als Trägersalz im Reaktor verbleiben. Entscheidend für diese Entwicklung werden wirtschaftliche Aspekte sein. Der Atomstrahlenglaube ist schon heute in den meisten Ländern stark rückläufig.

# 3. Endlagerung radioaktiver Abfälle

## a. Ableiten von radioaktiven Abfällen in Flüsse

Seit der Antike hat man die Flüsse zur Entsorgung von Giftmüll genutzt. Bereits die Römer haben die quecksilberhaltigen Abfälle der Goldgewinnung mit Schaden für Pflanzen, Tiere und Menschen in Flüssen entsorgt. Im Industriezeitalter hat man Emscher, Rhein und andere Flüsse in tote Kloaken verwandelt. Die ersten Kernreaktoren in Hanford wurden ab 1944 direkt mit dem Wasser des Columbia River gekühlt wobei die Brennstäbe nicht immer dicht waren. Die Abwässer der Wiederaufbereitungsanlage wurden bis 1960 im Columbia entsorgt. Radioaktive Nuklide werden großflächig in der Biosphäre verteilt und können sich in Fischen, in Sandbänken anreichern. Flüsse sind wahrscheinlich der schlechteste Weg chemotoxische und radiotoxische Abfälle zu entsorgen.

## b. Versenken des Atommülls im Meer:

Eine Möglichkeit leicht- und mittelradioaktiven Atommüll preisgünstig zu deponieren ist diesen im Meer zu versenken. Die natürliche Radioaktivität des Meeres liegt bei 12 Bq/l (6). Die Weltmeere enthalten 70 Mrd. to radioaktives Kalium40 und 4 Mrd. Tonnen radioaktives Uran (*Erläuterung* **h**), Thorium, Tritium und viele andere radioaktive Stoffe. Viele Staaten – inkl. Deutschland - hatten ihren Giftmüll und Atommüll ab den 1950er Jahren in den Ozeanen versenkt. Hochradioaktive Abfälle wurden vorwiegend vor Inkrafttreten der Londoner Konvention im Jahr 1975 versenkt. Die Arktis wurde als Entsorgungsgebiet von 1960 bis 1992 genutzt. Die Russen haben z.B. ausgediente Atom-U-Boote im Weißen Meer versenkt. Die Radioaktivität 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. Im November 1993 wurde das zuvor geltende Moratorium durch ein dauerhaftes und uneingeschränktes Verbot der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Meer ersetzt, das im Februar 1994 in Kraft trat. Aktuell wird radioaktiv belastetes Wasser behandelt bevor es in das Meer eingeleitet wird. Sinnvoll wäre zumindest die unbeschränkte Einleitung flüssiger radioaktiver Abfälle in das Meer. Ansonsten gibt es bessere Möglichkeiten chemotoxische- und radiotoxische Abfälle zu entsorgen.

## c. Vergraben des Atommülls in der Wüste



**Wüsten werden von ihren Bewohnern als wertlos empfunden da sie nicht landwirtschaftlich nutzbar sind. Der Abfall richtet geringen Schaden an. Müll, auch Sondermüll, wird in die Wüste gefahren, oder wenn dem Fahrer der Weg zu mühselig erscheint auch am Strassenrand deponiert.**



Die ausgedehnten Wüsten der Erde bergen zahlreiche Möglichkeiten die sich mit geringem Ausbau als Endlager für Atommüll anbieten.
Wichtig ist Wüsten zu wählen die auch in geologischen Zeiträumen Wüste bleiben.

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 ist dies unproblematisch. Für hochradioaktive Abfälle würde man aus heutiger Sicht eine wesentlich dickere Bedeckung wählen. Ein Vorteil liegt darin das der Atommüll in einigen 100 Jahren 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 – die für geologische Zeiträume Wüsten bleiben - 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

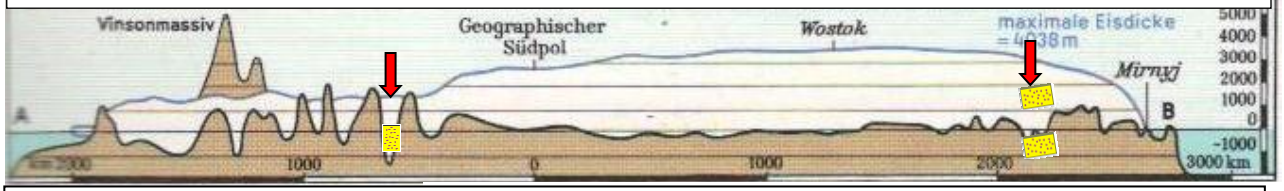
das Angebot hinterließ den deutschen Atommüll gegen gutes Geld in der Wüste Gobi abzulagern. Anmerkung: *Die Wüste Gobi liegt im Regenschatten des Himalayas und wird demzufolge für lange Zeit Wüste bleiben.*

Der US-Kongress hatte unter Präsident Bush beschlossen einen Berg in der Wüste Nevadas – **Yucca Mountain** - als Endlager für den abgebrannten Kernbrennstoff der zivilen Kernkraftwerke zu nutzen. Die Kernkraftbetreiber mussten eine Rücklage von 0,5c/KWh für den abgebrannten Kernbrennstoff bilden. Präsident Obama hat das Gesetz aufgehoben. Es war ein ähnliches aber weniger intensives Spektakel wie in Deutschland. Die Rücklagen wurden zurückgezahlt. Die USA haben kein Endlager für abgebrannten Kernbrennstoff kommerzieller Kernkraftwerke.

**China** plant sein Endlager für hochradioaktive Abfälle in der Wüste Gobi. Dazu hat man eine 500m tiefe Rampe im Beishan Underground Research Laboratory nahe Jiuquan in der Gansu Provinz eingerichtet.

## d. Deponieren des Atommülls im ewigen Eis

**Die radioaktive Zerfallswärme lässt die Atommüllbehälter durch das Eis bis zum felsigen Untergrund des antarktischen Kontinents gleiten.**




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 -55C°. Das antarktische Inlandeis wird auch bei einer signifikanten Erwärmung der Erde durch eine eventuelle Klimaänderung nicht schmelzen. Wahrscheinlich wird der Kontinent durch die Kontinentaldrift im Laufe der kommenden 250 Millionen Jahre 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 auch als Endlager durch den Antarktisvertrag verboten. Eine Alternative zur Antarktis könnte der Inlandsgletscher Grönlands darstellen.

## e. Deponierung des Atommülls Untertage

Die meisten Staaten sind sich darin einig radioaktive Abfälle Untertage zu entsorgen.

Idealerweise muss ein Endlager für Chemo- und radiotoxische Abfälle diese für geologische Zeiträume sicher vor der Biosphäre einschließen.

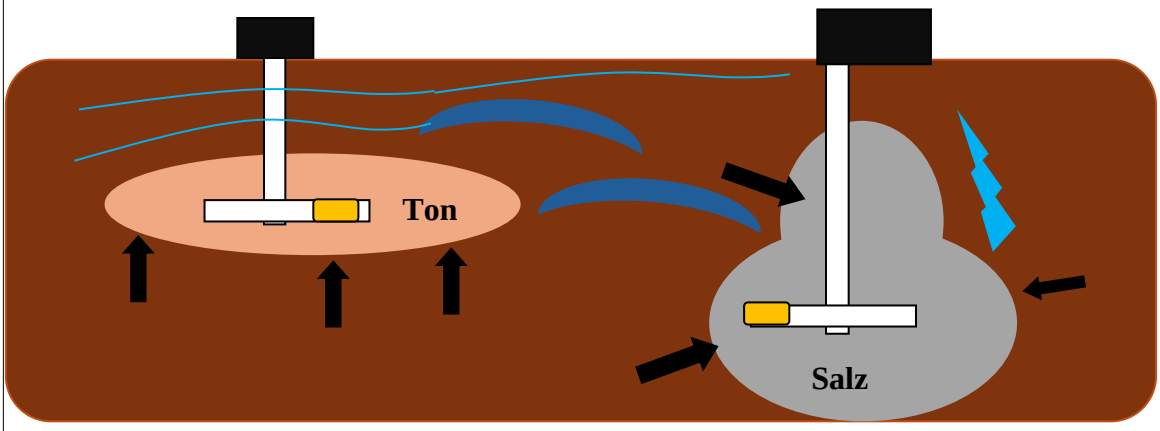
Deshalb kommen in erster Linie **geologisch stabile** Gebiete in Frage.

**E1** Im ehemaligen **Uran Bergwerk** in Joachimsthal in Tschechin hat man ab 1974 radioaktive Abfälle eingelagert. Die Logik dahinter ist das man die Radioaktivität wieder dorthin bringt wo diese hergekommen ist. Das ist politisch gut verkäuflich. Sachlich sind Uranlagerstätten meist nicht von der Biosphäre abgeschirmt. Die Natur richtet sich nicht nach menschlichen Phobien, oder Aspekten des Gesundheits- und Strahlenschutzes. In Gebieten mit Uranerzvorkommen wie dem Erzgebirge, oder dem Schwarzwald findet man in der Folge Bäche mit radioaktivem Wasser. In einigen Gegenden der Erde ist die natürliche Strahlung durch hohe Thorium-, oder Urankonzentrationen an der Oberfläche höher als in der Evakuierungszone um Tschernobyl.

**E2** In Skandinavien bevorzugt man **Granitlagerstätten**. Das liegt wahrscheinlich daran, dass es dort keine besseren Lagerstätten gibt. Granit hat den Nachteil das er nicht wasserdicht ist, bzw. Risse nicht schließt. Deshalb verpackt man den abgebrannten Kernbrennstoff in Kupferfässern die eine Haltbarkeit von zig-1000 bis einige 100.000 Jahre haben sollen. Vor-/Nachteil ist das sich die Bergwerke nicht schließen und das man den eingelagerten Wertstoff für ein Recycling einfach bergen kann. Nachteil ist das Risiko des Terrorismus.

**E3** In Frankreich und der Schweiz bevorzugt man **Tonlagerstätten.** Ton dichtet sicher ab und verhält sich unter Druck plastisch. Dadurch kann der abgebrannte Kernbrennstoff für geologische Zeiten sicher verwahrt werden. In der Schweiz hat man sich wohl für den Standort Stadel (ZH) entschieden. Tonlagerstätten schließen sich. Dadurch sind diese sicher gegenüber Terroristen. Wenn man diese Wertstoffe bergen möchte, muss man wie bei Salzstöcken einen neuen Schacht graben.

**Ton- und Salz- Lagerstätten für chemotoxische und hochradioaktive Abfälle**




**Ton- und Salz dichten gegen das Grundwasser ab. Sie verhalten sich unter Druck plastisch und verschliessen Risse und Spalten selbständig.**

**E4** Ideal geeignet für die Endlagerung chemotoxischer- und radioaktiver Abfälle sind **Salzstöcke.** Diese sind – Salz ist hygroskopisch - extrem trocken. Salz verhält sich unter Druck plastisch und verschließt Spalten (*Öko-Sprech Asse stürzt ein*) und leitet Wärme sehr gut ab was für hochradioaktiven Abfall ideal ist. Die Norddeutschen Salzstöcke gibt es seit 240 Mio. Jahren. In geologischen Zeiträumen wandern diese an die Oberfläche. Deshalb hat man die Endlager für chemotoxische Abfälle Herfa-Neurode und Teutschenthal in ehemaligen Salzbergwerken errichtet und lagert dort Sonderabfälle aus Europa inklusive großer Mengen giftigen Solarmülls ein. Deshalb wurde das vorbildliche Versuchsendlager in Asse errichtet und die Salzstöcke Morsleben (DDR) und Gorleben waren als Endlager für hochradioaktive Abfälle vorgesehen. Die USA entsorgen kritische, militärische radioaktive Abfälle in der WIPP Anlage, einem Salzstock, in New Mexico.

**Abnahme der Radioaktivität abgebrannten Kernbrennstoffs**

**10 Jahre** nach Entnahme aus dem Reaktor. Aktivität 10^13 Bq/Kg. Der abgebrannte Kernbrennstoff kann an der Luft gelagert werden.

---

**100 Jahre** nach der Entnahme aus dem Reaktor. Aktivität 10^12 Bq/Kg. Die Radioaktivität hat sich um den Faktor 10 reduziert.

---

**700 Jahre** nach der Entnahme aus dem Reaktor. Aktivität 10^11 Bq/Kg. Der abgebrannte Kernbrennstoff gilt nicht mehr als hochradioaktiv.

---

**7000 Jahre** nach der Entnahme aus dem Reaktor. Aktivität 10^10 Bq/Kg. Der abgebrannte Kernbrennstoff ist so radioaktiv wie Uranerz

---

Die Daten sind abhängig vom Kraftwerkstyp und Abbrand, Aus OECD NEA 1996, Radioactive Waste Management in Perspective

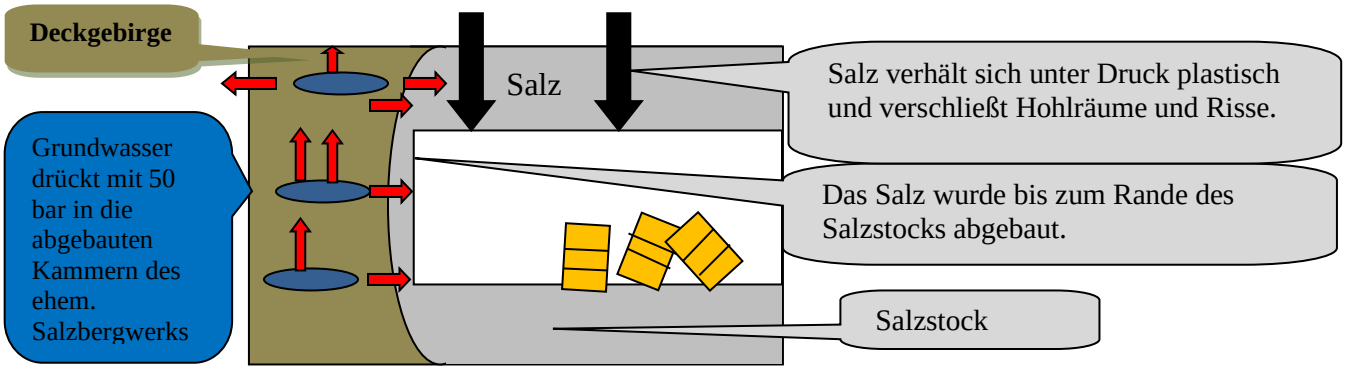
**F**. Die **größte Herausforderung sind ökoreligiöse Spektakel** die den Bau von Endlagern extrem verzögern und verteuern. Abgebrannter Kernbrennstoff verliert seine Gefährlichkeit mit der Zeit. Das bedeutet das Risiko ist in den ersten Jahren nach Entnahme aus dem Reaktor am größten. Nach der Entnahme aus dem Reaktor muss der abgebrannte Kernbrennstoff in Abklingbecken im Wasser gelagert werden weil dieser andernfalls aufgrund seiner Radioaktivität schmilzt. Nach etwa Tausend Jahren ist der abgebrannte Kernbrennstoff nicht gefährlicher als CdT Dünnschichtsolarzellen. Durch die politisch verursachte Verzögerung beim Ausbau von Endlagern wird der abgebrannte Kernbrennstoff in der gefährlichsten Phase in oberirdischen Zwischenlagern gelagert. Man hätte beispielsweise Gorleben in D im Jahr 2000 fertig stellen können. Der im Jahr 2000 in Zwischenlagern eingelagerte abgebrannte Kernbrennstoff ist mittlerweile um etwa den Faktor 3 weniger gefährlich. Der in den 1960ziger Jahren entstandene hochradioaktive Atommüll *(geringer Abbrand, kaum höhere Aktinide, Wiederaufbereitung in der WKA*) kann vermutlich bald in mittelradioaktiv umgestuft werden. Die Zwischenlagerung verursacht erhebliche Kosten. **Durch die Verzögerungen werden Kosten und Risiken maximiert.**

Derzeit sind 108 (**7**) atomare Endlager in Betrieb. Dem in Deutschland erkundeten und weitgehend ausgebauten und mittlerweile aufgegebenen Endlager 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.

Das **Versuchsatommüllendlager Asse** setzte im Umfeld der 60er Jahre Maßstäbe **(c).** Im Vergleich zur damals üblichen Deponierung chemotoxischer- und radiotoxischer Abfälle war dies ein großer Schritt.
Im Versuchsendlager Asse hat man leichtradioaktive Abfälle, wie gebrauchte Handschuhe, Kittel und Reagenzgläser überwiegend aus dem Kernforschungszentrum

Karlsruhe und der Kernforschungsanlage Jülich entsorgt. Außerhalb Deutschlands werden solche Leicht- und Mittelradioaktiven Abfälle üblicherweise in Betonwannen, z.B. Frankreich, CSR deponiert. Asse ist auch nach heutigen Maßstäben übertrieben.

Allerdings ist auch Asse ist 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 Salzlauge 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.

Das Versuchsendlager Asse soll für 2,9 Mrd. €uro ausgegraben werden. Das ist rational nicht verständlich. Asse ist für den eingelagerten Leicht- Mittelradioaktiven Abfall overdone. Da es in D keine Endlager gibt, stellt sich auch die Frage wohin mit den ausgegrabenen Tüchern, Kitteln, usw. Das vorgesehene Endlager Conrad wurde und wird durch ständige Überprüfungen seit Jahrzehnten verzögert.
Der Salzstock in Gorleben wurde noch nicht genutzt. Insofern entfällt die Thematik der Verritzung. Gorleben wurde für 1,7 Mrd. € untersucht -nichts Negatives gefunden - und weitgehend ausgebaut und mittlerweile aufgegeben. Es wurde ein Endlagersuchgesetz so formuliert und die Gremien so besetzt das kein Endlager gefunden wird.

Die Betreiber der umweltfreundlichen Kernkraftwerke hatten 24,1 Mrd. € ihrer Rückstellungen in den KENFO eingezahlt (31). Das eingezahlte Kapital wird nach ESG-Regeln (bescheiden) angelegt. Gem. KI wurden im Jahr 2024 805 Millionen Euro, 34 % für den Schacht Konrad, 53 % für die Zwischenlager und 13 % für die Endlagersuche ausgegeben. Damit stellt sich die Frage wieviel von den 105 Mio. € die für die

Endlagersuche ausgegeben wurden im grünen Sumpf verschwinden, bzw. ob auch nützliche Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Da man seit Jahren nichts mehr von der „Endlagerung“ hört, spricht viel dafür das es den einschlägigen NGO und Personen an nichts fehlt. Es ist sehr wahrscheinlich das das Geld irgendwann verprasst ist und die radioaktiven Abfälle dann in Zwischenlagern vor sich hin rotten.

**Es ist faszinierend das die Menschen sich dieses teure Spektakel der Medien und Politik zu ihren Lasten haben gefallen lassen.**

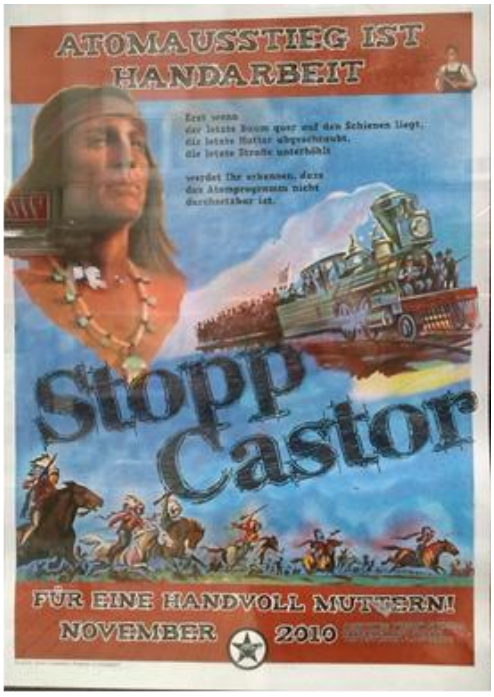
# Holger Narrog

## Erläuterungen

### Solarmüll

**a.** Bei einem Uranpreis von 70 $/lb U3O8, entsprechend 182$/Kg U, Konversionskosten von 12$/Kg U, SWU 110$ (Urantrennarbeit)
1 Kg 4,4% Anreicherung erfordert 8,22Kg U+8,22 Konv. + 7,46 SWU bzw. 1Kg U + 55g Pu
1Kg 22% Anreicherung erfordert 42,7 Kg U + 42,7 Kon. + 50,8 SWU bzw. 1Kg U + 250g Pu
Der Brennstoffwert von 1 Kg Pu entspricht 54000$ in einem schnellen Reaktor. In einem LWR 40000$.
Der Brennstoffwert eines Kg LWR Plutoniums (70$/lb U3O8, 12$/Kg Conversion, 110$/SWU Urantrennarbeit). Der höhere Wert im schnellen Reaktor entsteht dadurch das dieser auch dieser das Pu240 des Reaktorplutonium effektiver spaltet

**b** Sofern der Staat die Prügelspiele nicht gewollt hätte, hätte man ernsthaft gegen die Organisatoren ermitteln können.




Das Plakat ruft zur Zerstörung von Schienen und Straßen auf.

Das Plakat hing in einem Schaukasten an einem städtischen Gebäude der Stadt Frankfurt.

Die Castor Transporte wurden von der Polizei geschützt und mit den bekannten Prügelspielen letztlich durchgesetzt.

**c** Asse wurde nachdem das Salz abgebaut war 1965 für ½ Mio. DM gekauft. 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**. Wenn man den reinen Materialaufwand von Windkraftanlagen und Kernkraftwerken vergleicht, so kann man beispielsweise einen Windpark bestehend aus 4 Windkraftanlagen mit insgesamt 8,0MW Nennleistung, einer jährlichen Elektrizitätserzeugung von 16,5 GWh/a. und 20 Jahren voraussichtlicher Betriebsdauer als Beispiel wählen. Eine 2MW Windkraftanlage wiegt einschließlich eines Fundaments von 1400to etwa 1800to. Es bedarf 22g Baumasse um 1 KWh zu gewinnen. Ein Kernkraftwerk, z.B. ein AP1000 Reaktor besteht aus 300.000 to Beton, Stahl, Kupfer usw. Dazu kommt im Laufe eines 80-jährigen Betriebs 1660to auf 4,5% angereicherten Urans, oder 13300 to Uran (met.) und geschätzt 20.000to Betriebsmaterialien, Reparaturmaterialien an. Das entspricht 0,4g/KWh.

**e**. Ausgehend von einem Außendurchmesser v. 9,5mm und einer Brennstabwandstärke von 0,65mm (*EPR*) ergibt sich bei Dichten von Zirkaloy von 6,5g/cm$^3$ und Uox von 10,4 ein Gewichtsverhältnis von mU/mZ = (8.2$^2$ x 10.4)/(6.5 x (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/m$^2$ 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 durch die Sonne zugeführt wird.

**g.** *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**). MDR 26. Juni 2008, 18:44 Uhr. Die Quelle ist nicht mehr verfügbar. **Die Produktion einer derartigen Solarzellenfabrik beträgt 1/100 eines KKWs 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.**

**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 $^{40}$K beträgt 0,012 %. Daraus ergibt sich:

1,338 x 10exp12 Mrd to x 408 x 10exp-6 Kg K x 0.12 x 10 exp-3 = **65,5 Mrd to $^{40}$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. https://de.nucleopedia.org/wiki/Liste_von_Endlagern

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.**solar**server.de/**solar**magazin/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 Mittlerweile gelöscht

**19**. https://tradingeconomics.com/commodity/rhodium Rhodium traded flat at 7,300 USD/t oz. on September 4, 2025.

**20.** . Vortrag: Reduzierung der Radiotoxizität hochradioaktiver Abfälle- Partitioning und Transmutation -VDI Fachausschuss Kerntechnik Düsseldorf, 16. November 2005, Klaus Gompper und Walter Tromm, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Nukleare Entsorgung, S13, S58

| | Standard Purex Industrie |
|---|---|
| U | 99.9% |
| Pu | 99.0 – 99.9% |
| Np | 60 – 95 % |
| Am | - |
| Cm | - |

**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.areva.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
Atommüllendlager der USA für den in militärischen Anlagen anfallenden hochradioaktiven Müll, als Pilot Plant deklariert.

**24**. http://www.lahague.areva-nc.com/areva-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**. https://strategicmetalsinvest.com/neodymium-prices/ Sep 04 2025 $147.00 / kg

**27**. https://www.finanzen.ch/rohstoffe/silberpreis 40,69$/oz -> 1220$/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**. https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management
Ruthenium 925.00$ 04.09.2025 entspricht 28.000$/Kg

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

31. Pioneer Investment Briefing 11.07.2025 Der Kenfo bekam 2017 einmalig von den deutschen Kernkraftsbetreibern 24,1 Milliarden Euro überwiesen. Die Risikotoleranz des Kenfo liegt unterhalb der anderer Staatsfonds. Während die Norweger zu 26,6 Prozent in Anleihen investiert sind, sind es beim Kenfo darum 40,4 Prozent. Die Anleihenrendite des Kenfo lag 2024 bei 2,4 Prozent. Die Investments in Aktien aus Industrieländern erzielten 18,5 Prozent. Strenge Kriterien: Angesichts des politischen Umschwungs verlieren ESG-Kriterien bei Asset Managern an Bedeutung. Der Kenfo hält daran fest. Ausgeschlossen sind Waffenproduzenten, Fracking-Unternehmen oder Kernkraftwerksbetreiber – Letztere wären angesichts des Kenfo-Auftrags auch ironisch.

32. Oak Ridge National Laboratory: *Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger?*, Alex Gabbard, ORNL Review, Summer/Fall 1993, Vol. 26, Nos. 3 and 4. Abgerufen am 11. Dezember 2011 (Archivierte Version bei Wayback Machine)

33. University of Nebraska Press: *Green Illusions. The Dirty Secrets of Clean Energy and the Future of Environmentalism*, June 2012 ISBN: 978-0-8032-3775-9

34.
Technologie: Jede neue Gigawatt-Solarleistung benötigt im Schnitt 20 Tonnen Silber – bei aktuellen Ausbauplänen summiert sich das auf über 4.000 Tonnen pro Jahr – Hälfte der Minenproduktion. Pioneer Investment Briefing 02.09.2025

35. https://www.researchgate.net/figure/Average-fission-capture-and-capture-to-fission-ratios-a-for-selected-TRU-isotopes_tbl1_347194823

http://www.prokonnord.de/medien/downloads/download/webversion_broschuere_prokon_nord.pdf Webversion Broschüre von Prokon Nord S.3