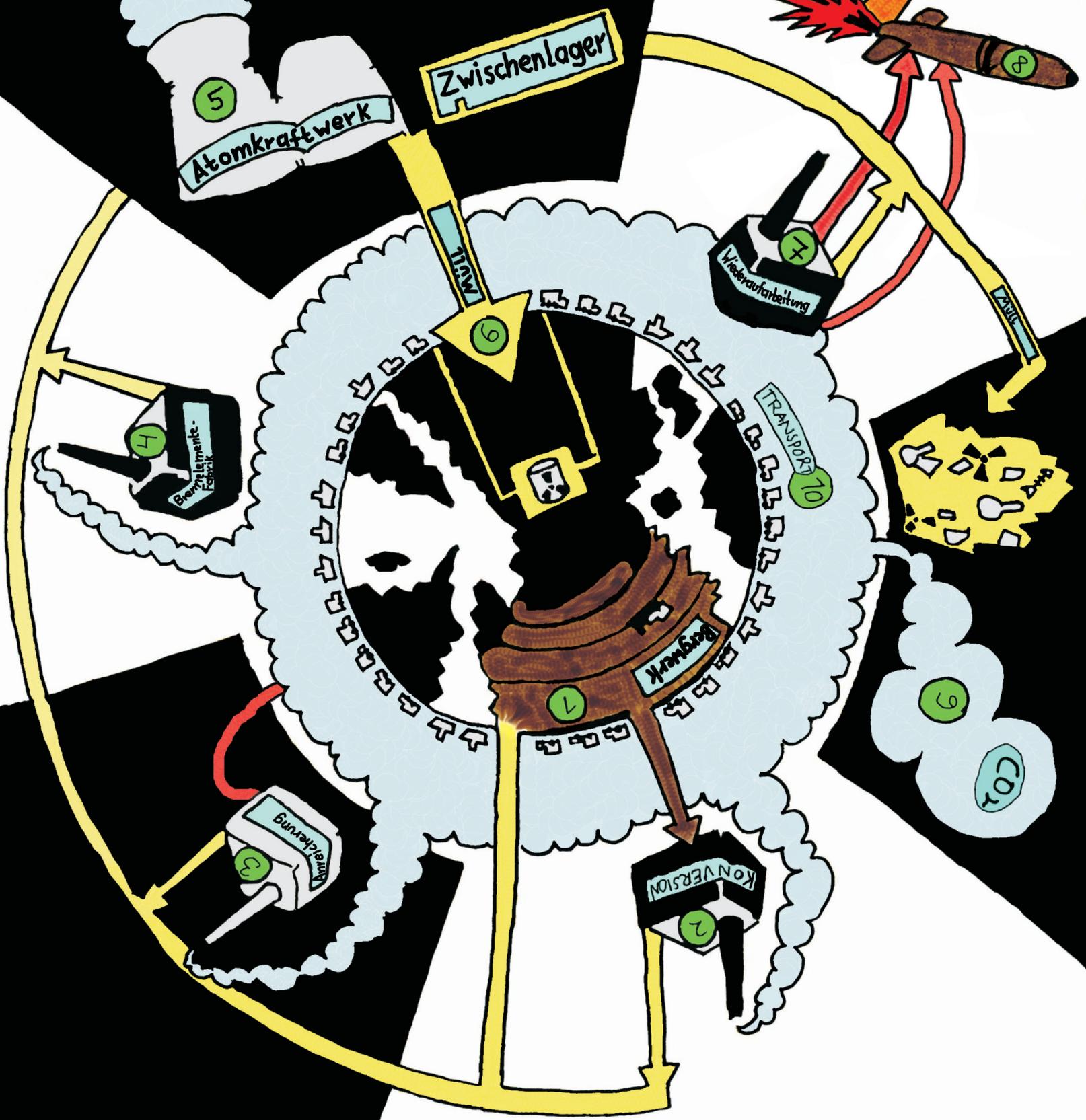


# Uran - Ein tödlicher Stoff

vom Uranabbau über Verarbeitung  
bis zu Atommüll + CO<sub>2</sub>



Dieser Flyer erzählt die Geschichte der Uranspirale sowie ihrer Stationen und gibt einen Überblick über die Gefahren, die mit jedem Schritt der Verarbeitung des radioaktiven Urans verbunden sind. Es beginnt mit dem Abbau des Uranerzes, geht weiter mit der Umwandlung des gemahlten "Yellow Cake" zu Uranhexafluorid, dann wird es angereichert und im nächsten Schritt werden die Brennelemente hergestellt. Danach wird das Uran im Atomreaktor oder als Waffenmaterial verwendet - und hinterlässt langlebigen radioaktiven Müll. Jedes Stadium der Uranspirale ist mit gefährlichen Transporten und der Freisetzung gewaltiger Mengen Kohlendioxids verbunden.

Es gibt 92 in der Natur vorkommende Elemente, aber nur eines, Uran, ist zum Schlüssel für den Betrieb der nuklearen Brennstoffspirale geworden. Dieser einzigartige Einsatzbereich rührt von der Spaltbarkeit seines Isotops Uran-235 her. Aus seiner Nutzung ergeben sich für Mensch und Umwelt Gesundheits- und Sicherheitsprobleme, da es durch die Verwendung in AKWs hochradioaktive Stoffe und Gase hinterlässt und selbst noch radioaktiver wird. Der Kern des bereits in der Natur radioaktiven Uran-235 besteht aus 143 Neutronen und 92 Protonen, der des Uran-238 setzt sich aus 146 Neutronen und 92 Protonen zusammen. Die Halbwertszeit von Uran-235 beträgt 713.000.000 Jahre und die des Uran-238 beläuft sich auf 4.500.000.000 Jahre. Uran-238 ist anders als Uran-235 kaum spaltbar. Aber das Uran-238-Atom kann ein Neutron einfangen, um ein Plutonium-239-Atom entstehen zu lassen; in geringerem Umfang entstehen außerdem Plutonium-238, -240 und -242. Plutonium ist das für den Menschen gefährlichste radioaktive Element, wenn es - z.B. durch Einatmen - in den Körper aufgenommen wird.

## 1 Uranabbau

Je nach Uran-Lagerstätte wird das Erz in Untertagebergwerken oder Tagebauen abgebaut oder durch Pressen von Chemikalien wie Säuren und Laugen in den Untergrund ausgelöst und an die Oberfläche gepumpt ("In-Situ-Laugung"). Der Gehalt von Uran im Erz liegt zwischen 0,1 und 1 Prozent, manchmal auch bei nur 0,01 Prozent. Nur an einigen wenigen Standorten in Kanada kann Uranerz mit Konzentrationen von bis zu 20 Prozent gefunden werden. Daher müssen typischerweise zwischen 100 und 10.000 Tonnen Erz gelöst, extrahiert und verarbeitet werden, um eine Tonne Uran zu produzieren.

Uranabbau verursacht die Zerstörung riesiger Gebiete; oft betrifft dies bisher unberührte Natur auf dem Land indigener Menschen. Große Halden mit nicht ausbeutbarem Uranerz, gewaltige Becken ("Tailing Ponds") mit giftigen Abwässern und der überwiegende Teil der Radioaktivität des abgebauten Urans verbleiben in den betroffenen Gebieten. Die Gesundheit der ArbeiterInnen und in der Region lebender Menschen wird beeinträchtigt und die Umwelt verschmutzt. Damit wird die Lebensgrundlage der örtlichen Bevölkerung auf Dauer vernichtet.

Eines der gesundheitsschädlichsten Zerfallsprodukte des Uran-238 ist das Gas Radon-222. Es entsteht natürlicherweise beim Zerfall des Uran-238 und hat eine Halbwertszeit von 3,823 Tagen. Durch den Abbau und die Verarbeitung des Uranerzes wird es in die Umwelt abgegeben und kann ernsthafte Schäden am menschlichen Körper verursachen, wenn es eingeatmet wird.

Kasachstan, Kanada und Australien waren 2009 die größten Uran-Produzenten, gefolgt von Russland, Namibia und Niger. Bis zur Schließung der ostdeutschen Wismut-Uranmine stand diese weltweit an dritter Stelle in der Rangliste des produzierten Uranvolumens. Da die Uranvorräte auslaufen, erfolgt seit 2003 ein neuer Ansturm auf profitable Uranerzquellen. In Europa werden neue Abbauvorhaben besonders in der Slowakei, Ukraine und Spanien vorangetrieben, aber auch Schweden und Finnland sind von diesen Entwicklungen gefährdet.

## 7 Behandlung des Atommülls: "Wiederaufarbeitung"

Das chemische Verfahren zur Abtrennung von Plutonium oder spaltbarem Uran aus abgebrannten Brennstäben wird "Wiederaufarbeitung" genannt. Weltweit werden etwa 10 % des abgebrannten Brennstoffs wiederaufbereitet. Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) haben überall auf der Welt - z.B. in La Hague (F) oder Sellafield (UK) - ärmliche Zeugnisse beim Arbeitsschutz, beim Immissionsschutz, bei der Abfallbehandlung und in Sachen Sicherheit an den Tag gelegt.

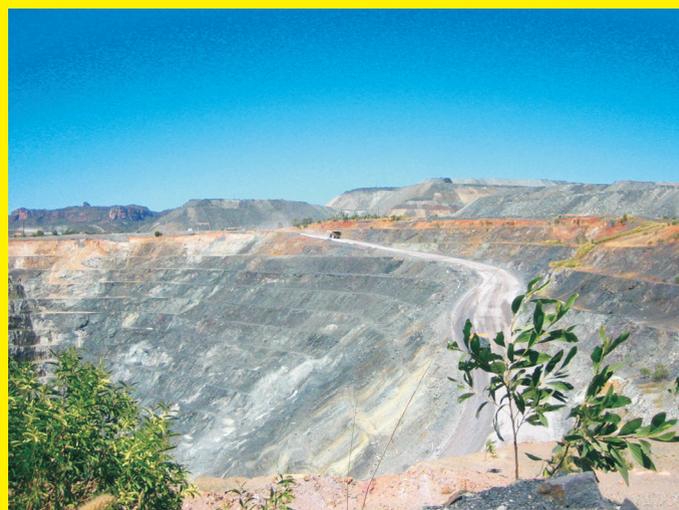
Die Wiederaufarbeitung wurde vor Jahrzehnten entwickelt, als die Atomindustrie plante Plutonium für den Einsatz in Reaktoren vom Typ "Schneller Brüter" zu separieren. Aufgrund von Problemen der Wirtschaftlichkeit, bei der Sicherheit und in technischen Fragen scheiterte die Brütertechnologie. Ungeachtet dieses Misserfolgs wird die Wiederaufarbeitung in Europa und Asien noch fortgesetzt. Plutonium, von dem lediglich wenige Kilogramm genügen, um eine Atomwaffe zu bauen, wird nun in gewissem Umfang für sogenannte Mischoxidbrennelemente

## 2 Umwandlung: Yellow Cake

Konventionell in Tagebauen oder Untergrundbergwerken abgebautes Erz wird zunächst in einer Uranmühle zerkleinert und ausgelaugt. Meistens sind diese Anlagen nahe dem Bergwerk angesiedelt. Danach wird das Uran in einem Verfahren der Hydrometallurgie extrahiert. Das Endprodukt der Uranmühle, ein pulverförmiges Uranerzkonzentrat ( $U_3O_8$ ), enthält eine Mischung verschiedener Uranbestandteile.

Eine geläufige Bezeichnung ist "Yellow Cake", benannt nach der gelben Farbe eines dieser Uranerzkonzentrate. Zwei Tonnen abgebauten Erzes ergeben etwa ein Kilogramm dieses Stoffes. Die Rückstände der Uranextraktion (Tailings) sind immer radioaktiv und müssen auf "geordnetem Wege" entsorgt werden. Aufgrund der großen Menge und langen Halbwertszeit des verbleibenden Thoriums, Radiums und der Uranisotope stellen diese Tailings ein dauerhaftes Umweltproblem dar.

Das Uranerzkonzentrat wird als nächstes in Uranhexafluorid ( $UF_6$ ) umgewandelt (Konversion). In Ekaterinburg (RUS) und Pierrelatte (F) sind derartige Konversionsanlagen ebenso wie in Lancashire (UK) in Betrieb. In verschiedenen anderen Staaten werden auch solche Anlagen betrieben.



Uran-Tagebau in Australien: Ranger Mine  
Quelle: <http://nukingthecimate.com>

(MOX) verwendet. MOX erhöht die Gefahren atomarer Proliferation, da das Plutonium einfacher als aus abgebrannten Brennstäben für die Verwendung in Waffen extrahiert werden kann. Um MOX-Brennstoff einsetzen zu können, muss der Reaktor angepasst werden. Diese Konfigurationsänderung führt zu einem geringeren Sicherheitsspielraum, wenn der Reaktor abgeschaltet wird, und die Brennstäbe können leichter beschädigt werden. Plutonium neigt bei Temperaturanstieg zu steigenden Spaltungsraten, was die Kontrolle über den Reaktor gefährden kann.

Neben der begrenzten Wiederverwendung von Plutonium, behauptet die Atomindustrie 95 % des wiederaufbereiteten Urans erneut anzureichern und als Brennstoff wieder zu verwenden. Das ist jedoch nur Theorie. In Wirklichkeit wird nur ein geringer Teil wiederverwendet.

## 3 Urananreicherung

Die Konzentration des spaltbaren Uran-235 in natürlichem Uranerz ist nicht hoch genug für die Nutzung als Brennstoff in Atomkraftwerken. Der Anteil von Uran-235 beträgt 0,7 % im Natururan, während etwa 99 % aus dem nicht-spaltbaren Uran-238 bestehen. Daher muss der Uran-235-Anteil erhöht werden, um eine atomare Kettenreaktion in den sogenannten Leichtwasserreaktoren zu ermöglichen - das Uran muss angereichert werden. Es gibt verschiedene technische Methoden der Urananreicherung. Eine der gebräuchlichsten Technologien ist die Trennung der Uranisotope in Gaszentrifugen. In Gronau (D) ist die einzige deutsche Urananreicherungsanlage (UAA) mit Gaszentrifugen in Betrieb und produziert Brennstoff mit einer Kapazität von 4.500 Tonnen Urantrennarbeit pro Jahr für etwa 35 Atomreaktoren in aller Welt. Weitere Urananreicherungsanlagen befinden sich u.a. in Tricastin (F) und Almelo (NL). In Gronau soll ein "Zwischenlager" für 60.000 Tonnen Uranmüll gebaut werden.

## 5 Atomkraftwerk

Der Einsatz von Uran als Brennstoff im Atomreaktor ist lediglich eine von mehreren Stufen der Urankette. Die Kernspaltung im Reaktor erzeugt heißen Dampf, der genutzt wird, um in den Turbinen elektrischen Strom zu produzieren. Beim Betrieb eines Atomkraftwerks werden radioaktive Partikel und Strahlung an die Umwelt abgegeben. Zusätzlich entstehen mit den abgebrannten Brennelementen im Atomkraftwerk große Mengen radioaktiven Mülls, der endgelagert oder "wiederaufbereitet" werden muss. Unfälle wie 1986 die Katastrophe in Tschernobyl stellen ein inakzeptables Risiko für Menschen und die Umwelt dar. Prinzipiell kann kein Reaktor sicher betrieben werden. 437 Atomreaktoren waren am 1. April 2011 weltweit in Betrieb.

Unabhängig von der Frage, ob der Atommüll in ein Endlager gebracht oder in einer Wiederaufbereitungsanlage behandelt wird, ist zunächst die Zwischenlagerung des abgebrannten Brennstoffs notwendig. Aus diesem Grund verfügt jedes Atomkraftwerk über ein eigenes Zwischenlager. Die abgebrannten Brennelemente werden für einige Jahre im Abklingbecken gelagert. Viele Atomreaktoren haben außerdem ein Trockenlager, um die Brennelemente für weitere Jahre aufzubewahren. Diese Zwischenlager erhöhen das Gefahrenpotenzial - wie inzwischen auch der Super-GAU im japanischen Fukushima zeigt -, da der Umfang des radioaktiven Inventars erhöht wird und bei Störfällen die Auswirkungen und Folgen enorm steigen.

## 8 Militärische Verwendung

Die Urananreicherung ist auch ein brisantes Thema der Rüstungspolitik. Prinzipiell können Anreicherungsanlagen wie die in Gronau (D) auch atomwaffenfähiges Uran produzieren. Atomwaffenfähiges Uran wird bis zu einem Grad angereichert, an dem es 70-90 % Uran-235 enthält. Offiziell darf Gronau bisher nur bis zu "zivilen" 6 % anreichern. Ein höherer Prozentsatz könnte aber nach einigen Umbauten erreicht werden.

Aber nicht nur Urananreicherungsanlagen versorgen das Militär mit dem tödlichen Material: In Wiederaufbereitungsanlagen wie La Hague (F) wird Plutonium produziert, das für Atomwaffen verwendet werden kann. Dies war ohnehin die ursprüngliche Konzeption dieser Anlagen, was durch die in Frankreich verwendete Bezeichnung als "l'usine de plutonium" verdeutlicht wird.

Seit den 1990ern verwendet das Militär verschiedener Länder wie der USA oder Großbritannien abgereichertes Uran (depleted uranium - DU - ein Abfallprodukt der Anreicherung von Uran-235), um die Wirkung konventioneller Geschosse zu verstärken. Wenn das Geschoss auf einer gepanzerten Oberfläche auftrifft, wird ein feines Pulver aus Uranstaub freigesetzt und verbreitet. Während des letzten Jahrzehnts verursachte DU-Munition schwerwiegende Gesundheitsschäden unter betroffenen Soldaten und EinwohnerInnen der angegriffenen Gegenden.

## 4 Brennelemente-Herstellung

Das  $UF_6$  wird in  $UO_2$  dekonvertiert, und als Uranpulver zu Tabletten von 10-15 mm Länge und 8-15 mm Durchmesser gepresst. Unter hohen Temperaturen von mehr als 1.700 °C werden diese gesintert, um ein keramisches Material zu formen, mechanisch aufbereitet und in Hüllrohre aus einer Zirkoniumlegierung gefüllt, deren Enden zugeschweißt werden. Eine größere Zahl einzelner Stäbe (bis zu 250) werden gebündelt und formen ein Brennelement. Beispiele für Brennelementefabriken sind die Anlagen in Lingen (D) und Dessel (B).



Eingang zur Urananreicherungsanlage Gronau  
Foto: Falk Beyer

## 6 Entsorgung

In jedem Glied der Uranspirale wird Atommüll produziert. Ein durchschnittliches Atomkraftwerk mit einer Kapazität von etwa 1.300 Megawatt braucht im Vollastbetrieb ungefähr 33 Tonnen angereichertes Uran pro Jahr. Um diese Menge Brennstoff zu produzieren, müssen über 740.000 Tonnen Gestein bewegt werden, von denen fast 620.000 Tonnen als radioaktiver Abfall in Halden in den Abbaugebieten verbleiben. Nur etwa 120.000 Tonnen Uranerz können im nächsten Schritt weiter verarbeitet werden. Hier fallen etwa 123.000 Tonnen radioaktiver und giftiger Schlick an, die in den Tailing Ponds abgelagert werden. Ca. 280 Tonnen Uranerzkonzentrate werden in etwa 348 Tonnen Uranhexafluorid umgewandelt, wobei wiederum 165 Tonnen festen bzw. 153 m<sup>3</sup> flüssigen Atommülls entstehen. Die Urananreicherung hinterlässt weitere 305 Tonnen abgereichertes  $UF_6$ , das entsorgt werden muss oder für militärische Zwecke verwendet wird. Lediglich 43 Tonnen angereichertes  $UF_6$  werden nun zu 33 Tonnen  $UO_2$  in Brennelementen für den Reaktoreinsatz verarbeitet. Während des Betriebs eines Atomkraftwerks entsteht daraus hochradioaktiver Müll und weitere strahlende Abfälle werden erzeugt, die in entsorgt werden müssen.

Nach dem Durchlaufen all dieser Abschnitte der Uranspirale hat sich die Menge des Atommülls verdoppelt, denn ein Großteil der Materialien, die in Kontakt mit den radioaktiven Substanzen kommen, werden auch radioaktiv und müssen als niedrig- oder mittelradioaktiver Abfall entsorgt werden. Nirgendwo in der Welt existiert ein sicheres Endlager für den langlebigen Atommüll, und wahrscheinlich wird es niemals eine sichere Lösung für dieses gefährliche Problem geben, da es unmöglich ist präzise Entwürfe einer für Millionen von Jahren sicheren Endlagerstätte zu formulieren. Niemand kann detaillierte Berechnungen der geologischen oder gar sozialen Entwicklungen über einen derart langen Zeitraum leisten.

Bis heute wird der Uranabfall in riesigen radioaktiven Abraumhalden und in großen sowohl giftigen als auch radioaktiven Tailing Ponds in den Abbaugebieten sowie in Zwischenlagern nahe den Verarbeitungsanlagen gelagert, in bestimmte Gebiete der Erde entsorgt (beispielsweise wurde deutscher Uranmüll lange Zeit nach Russland geschickt) oder wurde in bekanntermaßen unsichere Atommüll-Endlager verbracht.

## 9 Klimaveränderung

Atomkraft ist nicht CO<sub>2</sub>-neutral. Der Abbau von Uran, dessen Verarbeitung, die Konversion von "Yellow Cake" zu Uranhexafluorid (UF<sub>6</sub>), die Urananreicherung, die Rückverwandlung des UF<sub>6</sub> in Uranoxid und die folgende Brennelementherstellung verbrauchen eine gewaltige Menge fossiler Energie. Umso schlechter der Urangehalt des Erzes, umso höher ist der erforderliche Aufwand zur Herstellung des Brennstoffs. Selbst bei heutigem Stand der Technologie verursacht jede Kilowattstunde Atomstrom 32-65 g CO<sub>2</sub>, das in die Atmosphäre freigesetzt wird. Andere Untersuchungen haben bis zu 159 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde Atomstrom aufgezeigt. Die meisten erneuerbaren Energiequellen produzieren geringere CO<sub>2</sub>- oder vergleichbare klimarelevante Emissionen. Sogar moderne Kraft-Wärme-Kopplungs-Blockheizkraftwerke verursachen geringere Klimaprobleme als manche Atomkraftwerke.

Neben der Uranverarbeitung zur Brennelementherstellung wird auch für den Bau von Atomkraftwerken viel Energie verbraucht, und auch die zugehörige Infrastruktur benötigt große Mengen an Ressourcen und Energie, da sie wegen der Risiken, die mit dem Betrieb von Atomanlagen verbunden sind, sehr robust sein müssen. Diese Energie wird meist aus fossilen Quellen gewonnen.

Außerdem produziert der atomare Brennstoffzyklus Treibhausgase wie Fluorkohlenwasserstoffe (FKW - emittiert z.B. von der Atomanlage Sellafeld), die tausendfach klimawirksamer als Kohlendioxid sind.

## Weitere Informationen

### Internetseiten ...

- The Sustainable Energy & Anti-Uranium Service:  
<http://www.sea-us.org.au>
- Nuking the Climate (Film über Uranabbau):  
<http://nukingthecolimate.com>
- WISE Uranium Project:  
<http://www.wise-uranium.org>
- Uranium Network:  
<http://uranium-network.org>
- Nuclear Heritage Network - Bereich Uranabbau:  
<http://uranium.nuclear-heritage.net>
- Uranium Watch:  
<http://uraniumwatch.org>

## Unabhängige Organisationen ...

### Greenkids e.V.

PF 32 01 19 | D-39040 Magdeburg  
Tel.: +49 3431 / 589 41 70 | [morsleben@greenkids.de](mailto:morsleben@greenkids.de)  
Aktivitäten: Aktionen, Kampagnen & Recherche

### Nuclear Heritage Network

Am Bärenal 6 | D-04720 Ebersbach OT Mannsdorf  
Tel.: +49 3431 / 589 41 77  
[contact@nuclear-heritage.net](mailto:contact@nuclear-heritage.net)  
Aktivitäten: Information & Netzwerkarbeit

### WISE Uranium project

Peter Diehl | Am Schwedenteich 4 | D-01477 Arnsdorf  
[uranium@t-online.de](mailto:uranium@t-online.de)

### Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) e.V.

Prinz-Albert-Str. 55 | D-53113 Bonn | Tel.: +49 228 / 214032 |  
Fax: +49 228 / 214033 | [bbu-bonn@t-online.de](mailto:bbu-bonn@t-online.de) |  
<http://www.bbu-online.de>  
Aktivitäten: Widerstand gegen UAA Almelo (NL) u. a. m.



Tailing Ponds der Olympic Dam Mine in Australien  
Quelle: <http://nukingthecolimate.com>

## 10 Transporte

Im Zusammenhang mit der Herstellung von atomarem Brennstoff für die Reaktoren aus natürlichem Uran sind eine gewaltige Zahl von Transporten notwendig. Jede Sendung birgt das Risiko von Unfällen oder gefährlichen Anschlägen und führt zur Freisetzung großer Mengen klimarelevanter Gase. Außerdem erhöhen die Transporte die Strahlenexposition von AnwohnerInnen, FahrerInnen, Sicherheitskräften und anderer Personen, die von der Fracht passiert werden.

Transporte sind notwendig, um das Uranerz und die verarbeiteten Produkte von einer Anlage zur nächsten zu bringen, um den Atommüll von den Atomkraftwerken zu den Zwischenlagern oder Wiederaufarbeitungsanlagen zu befördern und um andere Vorräte und Stoffe für diese Prozesse an die richtigen Orte zu verfrachten. Zusammen mit der Verarbeitung des Urans sind die Transporte hauptverantwortlich für die schlechte Klimabilanz von Atomkraftwerken.

Atomtransporte erfolgen zum größten Teil per LKW, Schiff oder Zug. Daher werden die Kommunen bestimmter Seehäfen, Bahnhöfe und Bahnstrecken, sowie Autobahn- und Fernstrassenrouten von diesen gefährlichen Frachten beeinträchtigt.

In Deutschland führt der Transport hochradioaktiven Atommülls (die sogenannten Castortransporte) zu den Zwischenlagern in Gorleben, Lubmin oder Ahaus immer wieder zum Widerstand von Tausenden Menschen und wird mit der Gewalt Tausender PolizeibeamtInnen durchgesetzt. In großen Mengen wird Uranmüll von der UAA Gronau nach Frankreich transportiert.

## ... unterstützen

Neben der Mitarbeit bei den genannten Organisationen können Sie unsere kritische Arbeit zum Thema Uran auch durch eine Spende unterstützen:

Kontoinhaber:	<b>Greenkids e.V.</b>
Kontonummer:	<b>110 17 40 600</b>
Bankleitzahl:	<b>430 60 96 72</b>
Kreditinstitut:	<b>GLS Bank</b>
Verwendungszweck:	<b>Nuclear Heritage Network</b>

### AKU Gronau

Siedlerweg 7 | D-48599 Gronau  
Tel.: +49 25 62 / 23 125 | [mail@aku-gronau.de](mailto:mail@aku-gronau.de)  
Aktivitäten: Widerstand gegen die UAA Gronau