

# Uranium - Ein tödlicher Stoff

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



Dieser Flyer erzählt die Geschichte der Stationen der Uranspirale und gibt einen Überblick über die Gefahren, die mit jedem Schritt der Verarbeitung dieses radioaktiven Materials verbunden sind. Es beginnt mit dem Abbau des Uranerzes, geht weiter mit der Umwandlung des gemahlenen "Yellow Cake" zu gasförmigem UF<sub>6</sub>, 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 Urankette 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 Brennstoffkette geworden. Dieser einzigartige Einsatzbereich des Urans rührt von seiner instabilen, radioaktiven Atomstruktur her. Die Sicherheitsprobleme, die sich aus der Verwendung des Urans als Energieträger ergeben, kommen einher mit dieser hochradioaktiven Eigenschaft des Urans und mit dem produzierten Atommüll. Der Kern des 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.

## 1 Uranabbau

Je nach Uran-Lagerstätte wird das Erz in Untertage-Bergwerken, Tagebauen oder durch Pressen von Chemikalien wie Säuren und Laugen in den Untergrund, um das Uranmetall auslösen und die Flüssigkeiten nach oben zu pumpen ("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 Arbeiter und in der Region lebender Menschen wird ebenso beeinträchtigt, während auch die Umwelt verschmutzt wird.

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 des ostdeutschen Wismut-Tagebaus war dies der weltweit drittgrößte Uranproduzent. Da die Uranvorräte auslaufen (etwa die Hälfte des Urans für die Brennelementproduktion stammt aus der Abrüstung von Atomwaffen), läuft seit 2003 ein neuer Ansturm auf profitable Uranerzquellen. In Europa werden besonders nördliche Länder wie Schweden und Finnland 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 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.

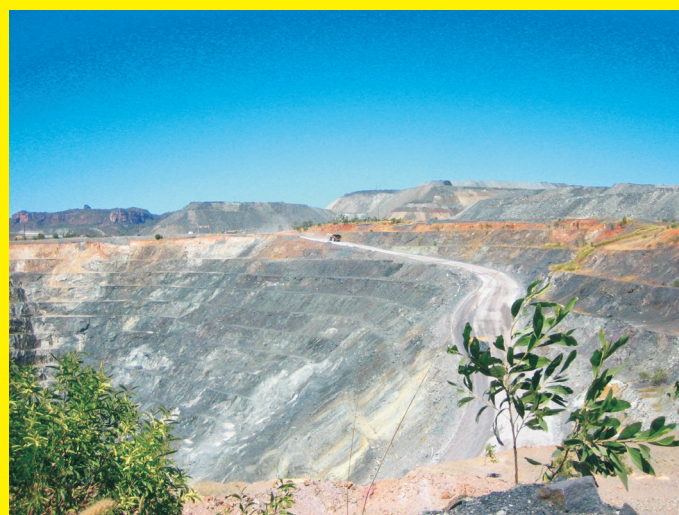
Die Wiederaufarbeitung wurde vor Jahrzehnten entwickelt, als die Atomindustrie plante Plutonium für den Einsatz in "Schneller Brüter"-Reaktoren zu separieren. Aufgrund von Problemen der Wirtschaftlichkeit, bei der Sicherheit und in technischen Fragen scheiterte die Brütertechnologie. Ungeachtet dieses 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 geringfügigem Umfang

## 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, um Transportwege zu reduzieren. Danach wird das Uran in einem Verfahren der Hydrometallurgie extrahiert. Das Endprodukt der Uranmühle, allgemein als "Yellow Cake" bezeichnet, wird nun verpackt und in Fässern verfrachtet.

Yellow Cake ist ein Pulver, das eine Mischung verschiedener Uranbestandteile enthält und nach seiner Farbe benannt wird. Zwei Tonnen abgebauten Erzes ergeben etwa ein Kilogramm Yellow Cake ( $U_3O_8$ ). Die Rückstände dieser Uranextraktion (Tailings) sind immer radioaktiv und müssen auf "geordnetem Wege" entsorgt werden. Aufgrund ihrer großen Menge und der langen radioaktiven Halbwertszeit des verbleibenden Thoriums, Radiums und der Uranisotope stellen diese Tailings ein dauerhaftes Umweltproblem dar.

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.



Tagebau-Bergwerk in Australien: Ranger Mine  
Quelle: <http://nukingtheclimate.com>

für sogenannte MOX-Brennelemente 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 Sicherheitspielraum, wenn der Reaktor abgeschaltet wird, und die Brennstäbe können leichter beschädigt werden. Die Spaltungsrate von Plutonium neigt dazu mit dem Temperaturanstieg zu steigen, 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 spaltbaren Uran-235 in natürlichem Uranerz ist nicht hoch genug für die Nutzung in Atomkraftwerken. Normalerweise beträgt der Anteil von Uran-235 0,7 %, während etwa 99 % des Erzes durch das nicht-spaltbare Uran-238 ausgemacht werden. Daher muss der Uran-235-Anteil erhöht werden, um eine atomare Kettenreaktion 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 eine Urananreicherungsanlage mit Gaszentrifugen in Betrieb und produziert Brennstoff für etwa 12 Atomreaktoren. Die Erweiterung der Kapazitäten der Fabrik ist geplant, um Uran für bis zu 32 große Atomreaktoren anreichern zu können. Weitere Urananreicherungsanlagen befinden sich beispielsweise in Tricastin (F) und Almelo (NL).

## 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. Im Betrieb eines Atomkraftwerks werden radioaktive Partikel und Strahlung an die Umwelt abgegeben. Zusätzlich entstehen 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. 436 Atomreaktoren waren 2009 weltweit in Betrieb.

Unabhängig von der Frage, ob der Atom Müll in ein Endlager gebracht wird oder in einer Wiederaufarbeitungsanlage 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 Risiko - inzwischen auch durch den Super-GAU im japanischen Fukushima verdeutlicht, da der Umfang des radioaktiven Inventars erhöht wird und die Auswirkungen von Unfällen und Zwischenfällen 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. Dieses Uran wird bis zu einem Grad angereichert, dass es 70-90 % Uran-235 enthält. Offiziell darf Gronau bisher nur bis zu "zivilen" 5 % anreichern. Ein höherer Prozentsatz könnte aber sicherlich nach einigen Umbauten erreicht werden.

Aber nicht nur Urananreicherungsanlagen versorgen das Militär mit dem tödlichen Material: in Wiederaufarbeitungsanlagen 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 United States oder Großbritannien abgereichertes Uran (depleted uranium - DU - ein Abfallprodukt der Anreicherung von Uran-235), um die Wirkung ihrer Waffen zu verstärken. Wenn die Uranmunition explodiert, wird ein feines Pulver aus Uranstaub freigesetzt und verbreitet. Während des letzten Jahrzehnts verursachte DU-Munition schwerwiegende Gesundheitsschäden und Todesfälle unter betroffenen Soldaten und EinwohnerInnen der angegriffenen Gegenden.

## 4 Brennelemente-Herstellung

Das gemahlene Uranpulver wird 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).



Infocenter der Urananreicherungsanlage Gronau  
Foto: Falk Beyer

## 6 Entsorgung

In jedem Glied der Urankette wird Atom Müll produziert. Ein durchschnittliches Atomkraftwerk mit einer Kapazität von etwa 1.300 Megawatt braucht ungefähr 33 Tonnen Uran pro Jahr. Um diese Menge Brennstoff zu produzieren, müssen über 440.000 Tonnen Uranerz gefördert werden. 400.000 Tonnen davon verbleiben als radioaktiver Abfall in Halden in den Abbaugebieten. Nur 40.000 Tonnen werden im nächsten Schritt weiter verarbeitet. Hier fallen etwa 39.600 Tonnen radioaktiver und giftiger Schlick an, die in den Tailing Ponds abgelagert werden. Die verbleibenden 400 Tonnen sogenannten "Yellow Cakes" werden in das Gas  $UF_6$  umgewandelt, wobei wiederum 180 Tonnen Atom Müll übrig bleiben. 220 Tonnen gehen in die Urananreicherung und hinterlassen weitere 187 Tonnen abgereichertes Uran, das entsorgt werden muss oder für militärische Zwecke verwendet wird. Lediglich 33 Tonnen werden zum Brennstoff der Atomindustrie. Während des Betriebs eines Atomkraftwerks werden weitere hochradioaktive Abfälle erzeugt, die in einer Wiederaufarbeitungsanlage behandelt werden oder - weitaus häufiger - in die Endlagerung sollen.

Nach dem Durchlaufen all dieser Abschnitte der Urankette hat sich die Menge des Atom Mülls 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 Atom Müll, und es ist sehr wahrscheinlich, dass es niemals eine sichere Lösung für dieses gefährliche Material geben wird, da es unmöglich ist präzise Entwürfe einer sicheren Endlagerstätte für Millionen von Jahren 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 Abraumbalden 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 Uran Müll für eine lange Zeit nach Russland geschickt) oder wurde in bekanntermaßen unsicheren Atom Müll-Endlager verbracht.

## 9 Klimaveränderung

Atomkraft ist nicht CO<sup>2</sup>-neutral. Der Abbau von Uran, dessen Verarbeitung, die Konversion von "Yellow Cake" zu gasförmigen UF<sub>6</sub>, die Urananreicherung, die Rückverwandlung des UF<sub>6</sub> in Uranoxid und die folgende Brennelementherstellung verbraucht 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<sup>2</sup>, das in die Atmosphäre freigesetzt wird. Andere Untersuchungen haben bis zu 159 Gramm CO<sup>2</sup> pro Kilowattstunde Atomstrom aufgezeigt. Die meisten erneuerbaren Energiequellen produzieren geringere CO<sup>2</sup>- oder vergleichbare klimarelevante Emissionen. Sogar moderne Kraft-Wärme-Kopplung-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 Flourkohlenwasserstoffe (FKW - emittiert z.B. von der Atomanlage Sellafielld), 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://nukingthecclimate.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)



Tailing Ponds der Olympic Dam Mine in Australien

Quelle: <http://nukingthecclimate.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 Kraftwerken 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 Autobahnrouen von diesen gefährlichen Frachten beeinträchtigt.

In Deutschland führt der Transport hochradioaktiven Atommülls (die sogenannten Castortransporte) zu den Zwischenlagern in Gorleben oder Ahaus immer wieder zum Widerstand von Tausenden Menschen und wird mit der Gewalt Tausender PolizeibeamtInnen durchgesetzt.

## ... unterstützen

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

Kontoinhaber: **Greenkids e.V.**  
Kontonummer: **110 17 40 600**  
Bankleitzahl: **430 60 96 72**  
Kreditinstitut: **GLS Bank**

### AKU Gronau

Siedlerweg 7 | D-48599 Gronau  
Tel.: +49 25 62 / 23 125 | Fax: +49 25 65 / 977 82  
[mail@aku-gronau.de](mailto:mail@aku-gronau.de)  
Aktivitäten: Widerstand gegen die UAA Gronau