

# **Uranabbau und Uranexport – ein „Kreislauf“ mit Nebenwirkungen**

Eric Tschöp

anti-atom-Gruppe Mannheim

[aagm@castor-stoppen.de](mailto:aagm@castor-stoppen.de)

[www.castor-stoppen.de](http://www.castor-stoppen.de)

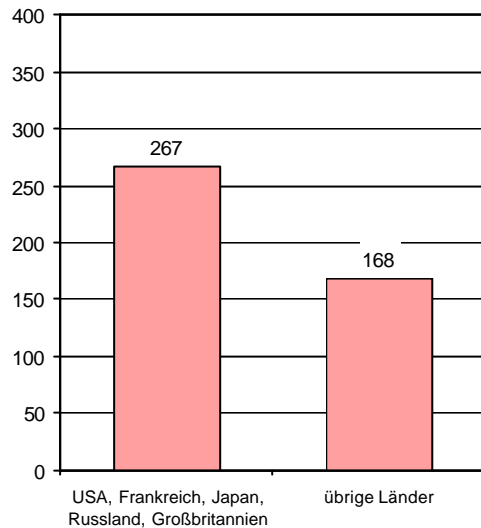
**Inhalt**

1	Einleitung.....	3
2	Der Uran-„Kreislauf“ .....	4
3	Stationen der Uran-Brennstoffkette .....	8
3.1	Uranabbau.....	8
3.1.1	Uranvorkommen und -produktion.....	8
3.1.2	Umweltauswirkungen beim Uranerz-Abbau .....	9
3.2	Uran-Extraktion aus dem Erz .....	13
3.3	Uran-Anreicherung .....	16
3.4	Uranexport nach Russland .....	18
4	Schluss .....	19
5	Literatur .....	20

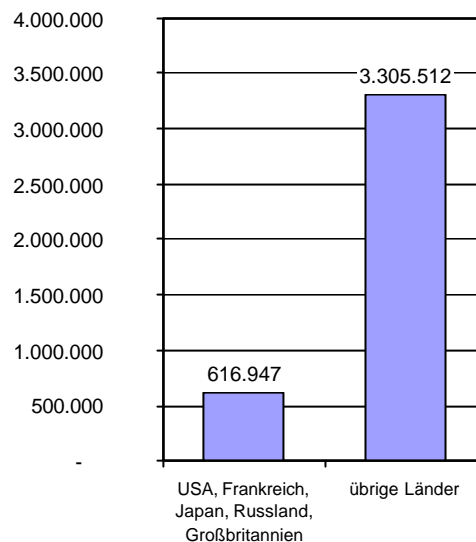
## 1 Einleitung

Weltweit werden derzeit 435 Atomkraftwerke betrieben. Der Großteil von ihnen befindet sich in den Industriestaaten: in den USA, Frankreich, Japan, Großbritannien und Russland sind derzeit 267 AKW-Blöcke in Betrieb. Die verbleibenden 168 AKWs verteilen sich auf die übrigen Länder der Erde (siehe Anlage 1).

**Relative Anteile an den betriebenen AKW**



**Relative Anteile an der Uranproduktion**



Der Brennstoff für diese Atomkraftwerke ist in entgegengesetzter Relation über die Welt verteilt. Die fünf Länder mit den meisten AKW verfügen nur über einen Anteil von ca. 16% an der weltweiten Uranproduktion.

Deutschland fördert seit dem Ende der „Wismut“ in der ehemaligen DDR kein Uran mehr auf eigenem Boden.

Diese ungleichen Verhältnisse zwischen Uranverbrauch und Uranproduktion führen dazu, dass Produktion und Verbrauch des Kernbrennstoffs örtlich getrennt sind. Der besonders umweltbelastende Uranabbau findet häufig in Ländern statt, die selbst keine AKW betreiben und somit von dem geförderten Rohstoff nicht profitieren, jedoch von den Umweltauswirkungen des Abbaus in vollem Umfang getroffen werden.

In diesem Vortrag soll ein Überblick über die weltweite Problematik des Uranabbaus sowie über die mit dem Export abgereicherten Urans verbundenen Folgen gegeben werden.

## 2 Der Uran-„Kreislauf“

Nach der Idealvorstellung der Atomindustrie wird der Kernbrennstoff in einem endlosen Kreislauf immer wieder verwendet.

Dieser ideale Kreislauf sieht folgendermaßen aus:

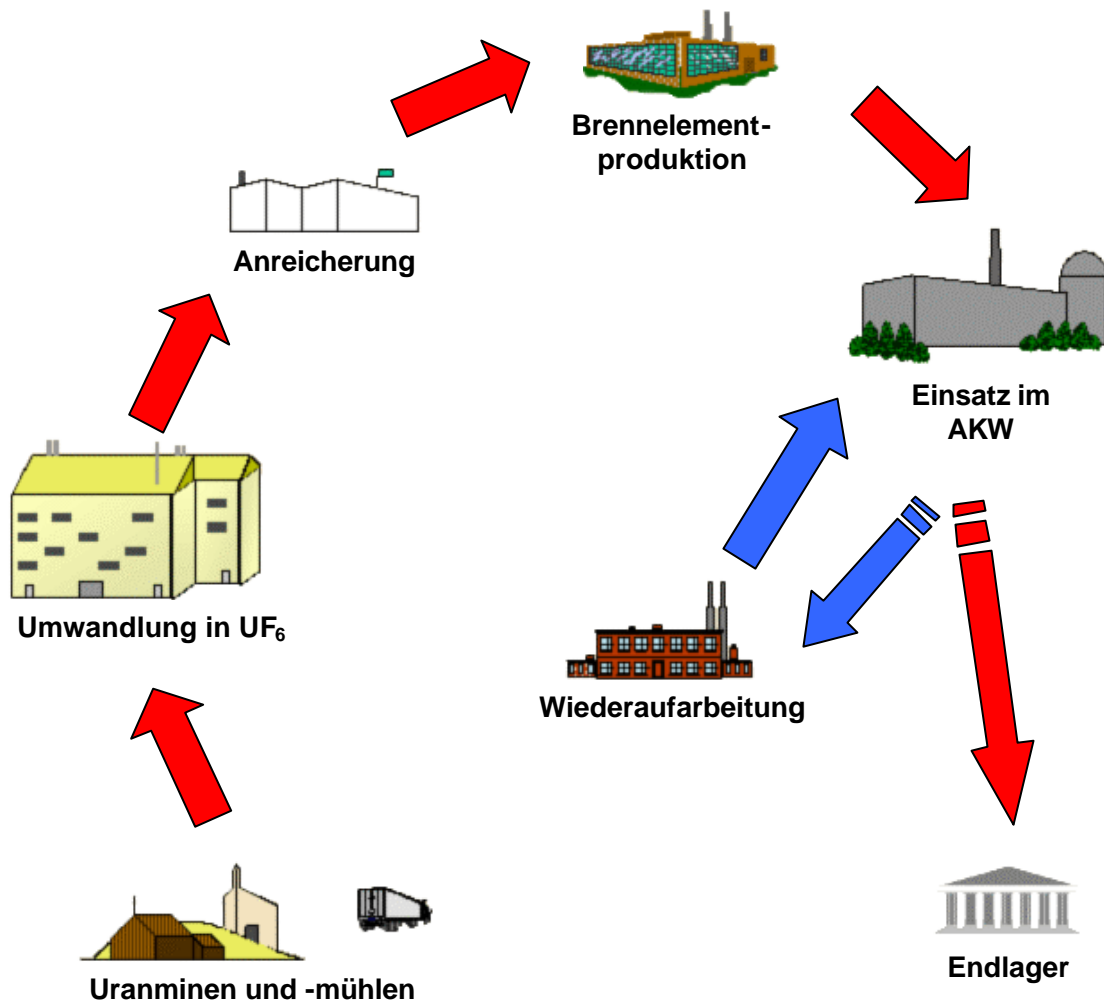


Abbildung 1: Uranbrennstoff-Kreislauf

Folgende prinzipielle Verarbeitungsschritte werden durchlaufen:

1. Abbau des Uranerzes in Uranminen und Vermahlen des Erzes; Extraktion des Urans aus dem Erz in der Form von Uranerz-Konzentrat (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)
2. Umwandlung des extrahierten Urans in das leichter weiterzuverarbeitende Uran-Hexafluorid (UF<sub>6</sub>)
3. Bei der Anreicherung wird der Anteil des für die Kernspaltung benötigten Uran-Isotops U-235 auf ca. 3% bis 4% erhöht.
4. Aus dem angereicherten Uran-Hexafluorid werden Brennelemente hergestellt. Hierzu muss das Hexafluorid in eine andere chemische Form, Uranoxid (UO<sub>2</sub>), umgewandelt werden.

5. Einsatz der Brennelemente im AKW.
6. Hier gibt es zwei Alternativen:
  - a. Endlagerung der abgebrannten Brennelemente
  - b. Wiederaufarbeitung der Brennelemente und erneuter Einsatz im AKW

Folgt man dem so genannten Kreislauf vom Abbau des Urans bis zur Endlagerung, so fällt auf, dass der Kreislauf gar nicht geschlossen ist.

In den siebziger Jahren wurde von der Atomindustrie noch das Projekt eines „Schnellen Brütters“ verfolgt, der durch die Anwendung spezieller nuklearer Prozesse mehr Uran-235 erzeugt, als er verbraucht.

Die Pläne sahen vor, die wiederaufgearbeiteten Brennelemente in einem „Schnellen Brüter“ einzusetzen und aus dem im „Brutprozess“ gewonnenen Uran zusätzliche Brennelemente zu fertigen.

Weltweit ist es jedoch nicht gelungen, einen derartigen Reaktor über das experimentelle Stadium hinaus zu realisieren.

In Deutschland wurden Milliarden in den „Schnellen Brüter Kalkar“ investiert, bis sich herausstellte, dass die technischen Schwierigkeiten nicht beherrschbar sind. Ähnliche Erfahrungen mussten alle anderen Nationen machen, in denen derartige Brutreaktoren entwickelt wurden.

In Frankreich wurde 1986 der Brutreaktor „Superphénix“ gebaut, der wegen zahlreicher technischer Probleme bis 1990 nur 180 Tage in Betrieb war und 1997 wegen erheblicher Mängel im Kühlsystem stillgelegt werden musste. Der Vorläufer-Reaktor namens Phénix wurde nach der Abschaltung des Superphénix wieder in Betrieb genommen und wird als Forschungsreaktor weiter betrieben, da sich Frankreich trotz der desillusionierenden Erfahrungen mit dem Superphénix die Option auf die Brütertechnologie offen halten will. Auch andere Länder wollen die Brütertechnologie nicht aufgeben, obwohl diese wesentliche Nachteile und Risiken birgt<sup>1</sup>:

- Die Reaktoren des schnellen Brütters müssen mit einem Material gekühlt werden, welches die Neutronen möglichst wenig abbremst und zudem genügend Wärme aufnehmen und transportieren kann. Natrium, welches bei ca. 400 Grad Celsius flüssig ist, eignet sich von seinen Materialeigenschaften sehr gut für diese Anwendung, jedoch ist Natrium sehr aggressiv gegenüber den meisten Werkstoffen. Heißes Natrium reagiert zudem äußerst heftig mit Wasser - ein Leck im Wärmetauscher zwischen dem Natrium- und dem Wasserkreislauf hätte katastrophale Folgen. Alternativ zu Natrium wurde in einem russischen Brutreaktor flüssiges Blei für den Primärkreislauf in Betracht gezogen, welches chemisch nicht so reaktiv ist, ansonsten aber vergleichbare Eigenschaften für diesen Zweck besitzt.
- Der Brennstoffinhalt des Reaktors muss während des Betriebs in regelmäßigen Abständen aufbereitet werden, was den Umgang mit hochradioaktiven teilweise giftigen Stoffen erfordert.
- Plutonium lässt sich in reinem Zustand herstellen und für einen nuklearen Sprengsatz einsetzen - eine sehr strenge Kontrolle des Materialflusses ist unerlässlich.

Da der „Schnelle Brüter“ nach derzeitigem Stand somit nicht über das Experimentstadium hinaus gekommen ist und daher noch nicht als verfügbar angesehen werden

---

<sup>1</sup> vgl. <http://www.energieinfo.de/eglossar/node22.html>

kann, taucht die Station „Brutreaktor“ in den aktuellen Darstellungen des Brennstoffkreislaufs nicht mehr auf.

Die durch den fehlenden Brutreaktor im Brennstoffkreislauf entstandene Lücke wird durch die graphische Anordnung der Stationen, die in praktisch allen Veröffentlichungen der Atomindustrie wie in Abbildung 1 oder ähnlich zu finden ist, geschickt überspielt. Die kreisförmige Positionierung und die Bezeichnung „Brennstoffkreislauf“ suggerieren einen Kreislauf, der so gar nicht existiert.

Das „verbrauchte“ Uran wird zwar in einem Endlager üblicherweise wieder unter die Erde gebracht, jedoch ist der Platz, an dem das Uran landet, auch die einzige Ähnlichkeit mit der ersten Station der Prozesskette, in der das Uranerz aus dem Boden geholt wird. Die Radioaktivität verbrauchter Brennelemente ist wegen der Spalt- und Zerfallsprodukte, die bei und nach der Kernspaltung im AKW entstehen, wesentlich größer als die des natürlichen Uranerzes und auch deutlich gefährlicher, weil beispielsweise größere Anteile von Neutronenstrahlung emittiert werden, die auch meterdicke Wände durchdringen kann.

Wird die Wiederaufarbeitung mit einbezogen, so scheint zwischen AKW und Wiederaufarbeitungsanlage ein „innerer Kreislauf“ zu bestehen, bei dem die Brennelemente immer wieder aufgearbeitet und wieder verwendet werden können.

Beim Einsatz im AKW erhöht sich innerhalb der Brennelemente jedoch der Anteil an nicht spaltbarem Material, der auch durch zahlreiche Prozessschritte in der Wiederaufarbeitungsanlage nicht auf den Ursprungszustand reduziert werden kann. Unter anderem ist der Anteil von Uran-236 erhöht, das besonders gut Neutronen absorbiert. Die aus wiederaufbereitetem Brennstoff hergestellten Brennelemente müssen daher auf mehr als 6% Anteil des spaltbaren Uran-235 angereichert werden, was die Produktionskosten erhöht.

Alternativ zur Herstellung von U-235-Brennelementen wird das bei der Wiederaufarbeitung der Brennstäbe ebenfalls abgetrennte Plutonium mit Natururan oder gering angereichertem Uran vermischt, um so genannte Mischoxid-Brennelemente herzustellen. Diese enthalten nicht nur das – in „frischen“ Brennelementen enthaltene – Uran-235, sondern auch das hochgiftige Plutonium, aus dem durch Kernspaltung ebenfalls Wärme gewonnen werden kann.

Weil sich diese MOX-Brennelemente im AKW-Betrieb schwieriger handhaben lassen, sind sie bei AKW-Betreibern relativ unbeliebt und werden kaum eingesetzt.

In Deutschland setzt nur das AKW Gundremmingen MOX-Brennelemente ein.

Es bleibt also festzustellen, dass der Brennstoffkreislauf kein echter Kreislauf im Sinne eines Recyclings – wie beispielsweise beim Glas oder eingeschränkt (da mit Qualitätseinbußen bei jedem Zyklusdurchlauf) beim Papier – ist, sondern viel eher mit einer linearen Kette von Verarbeitungsschritten gleichzusetzen ist.

In den üblichen Darstellungen werden auch die „Nebenwirkungen“ der Brennstoffkette gerne weggelassen, die keineswegs zu vernachlässigen sind.

Bei jedem Prozessschritt entstehen teilweise große Mengen radioaktiver Abfälle.

Die Brennstoffkette ist nachstehend nochmals mit ergänzten Abfallströmen wiedergegeben.

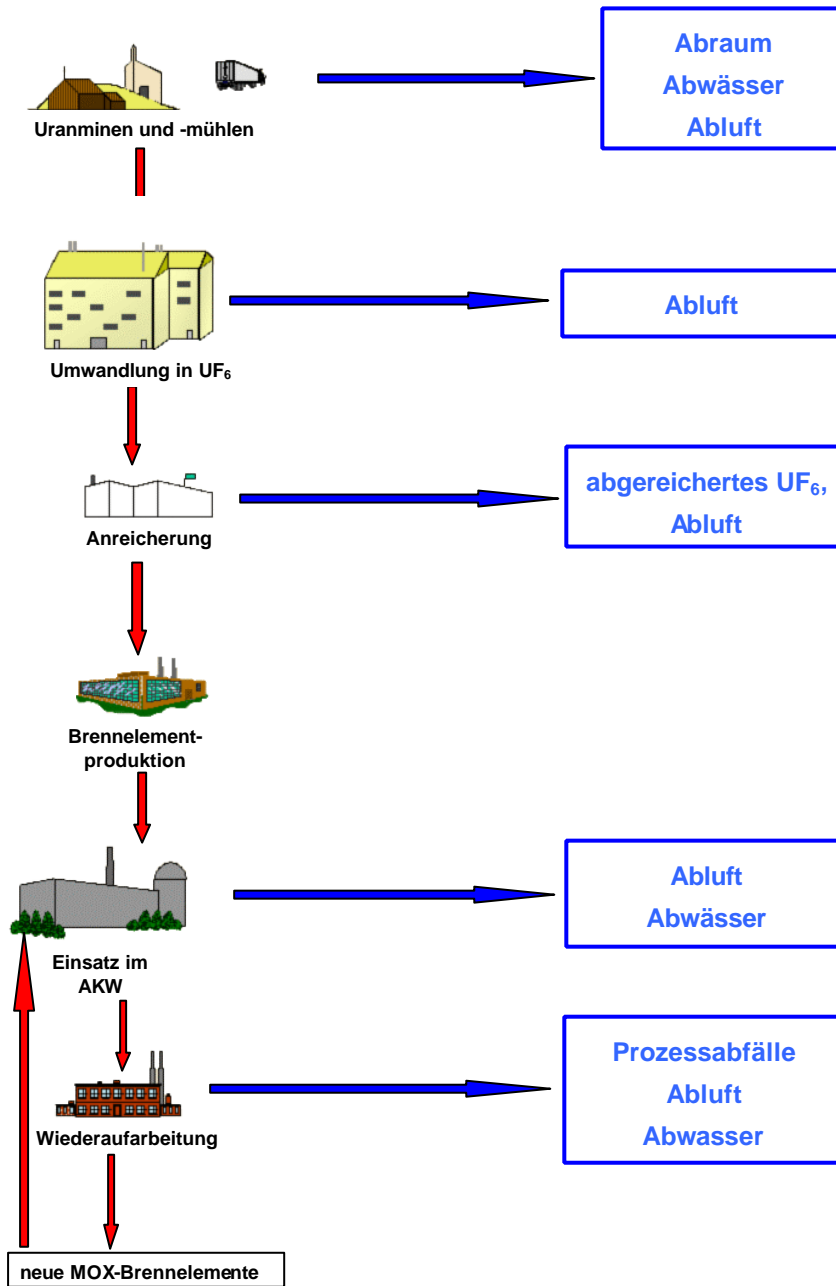


Abbildung 2: Uranbrennstoff-Kette mit Abfallströmen

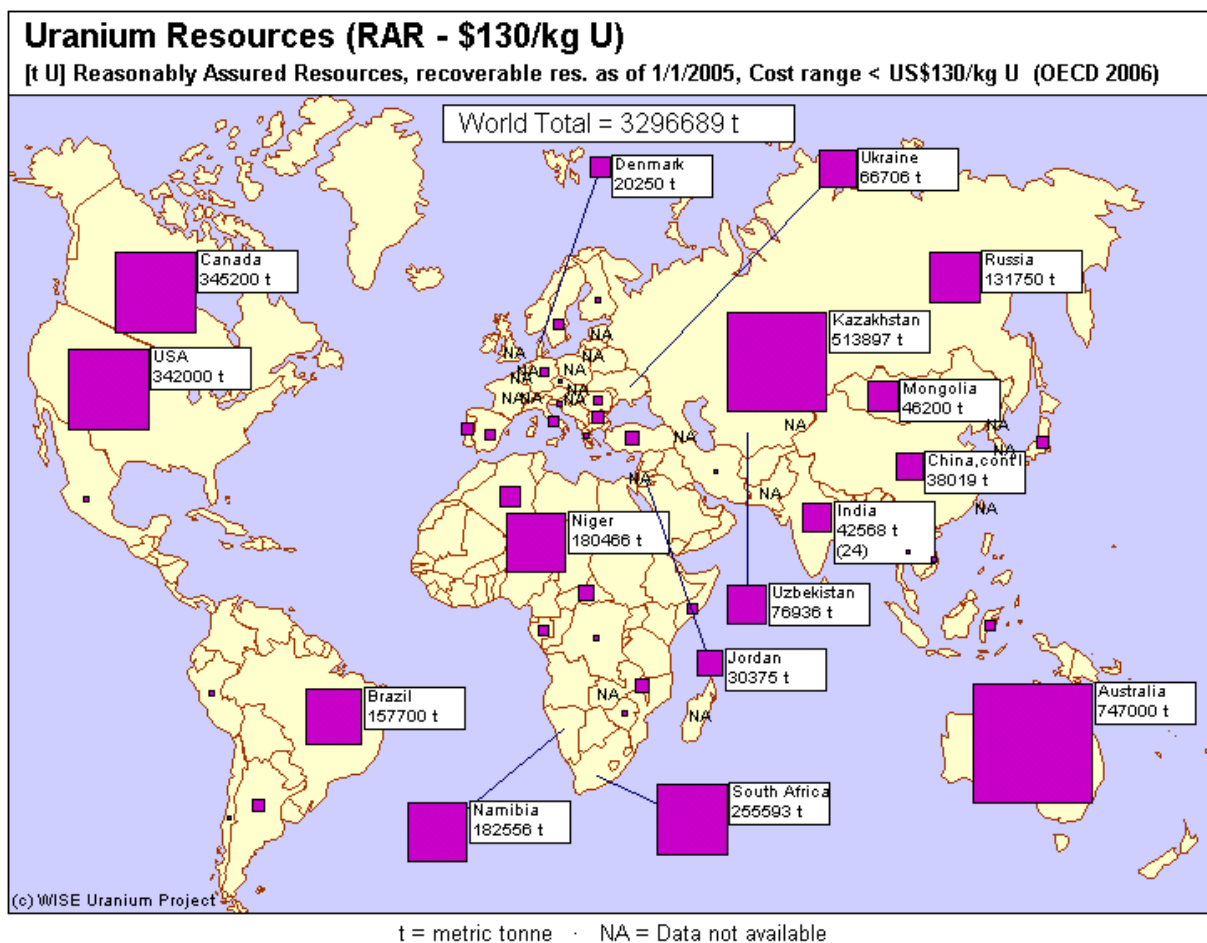
### 3 Stationen der Uran-Brennstoffkette

Auf die wesentlichen Stationen der Prozesskette des Uranbrennstoffs soll in den folgenden Abschnitten eingegangen werden.

#### 3.1 Uranabbau

##### 3.1.1 Uranvorkommen und -produktion

Die Verteilung der bekannten Uranvorkommen auf der Erde ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben.



**Abbildung 3: Verteilung der bekannten Uranvorräte weltweit**

Bildquelle: <http://www.wise-uranium.org/img/uresw.gif>

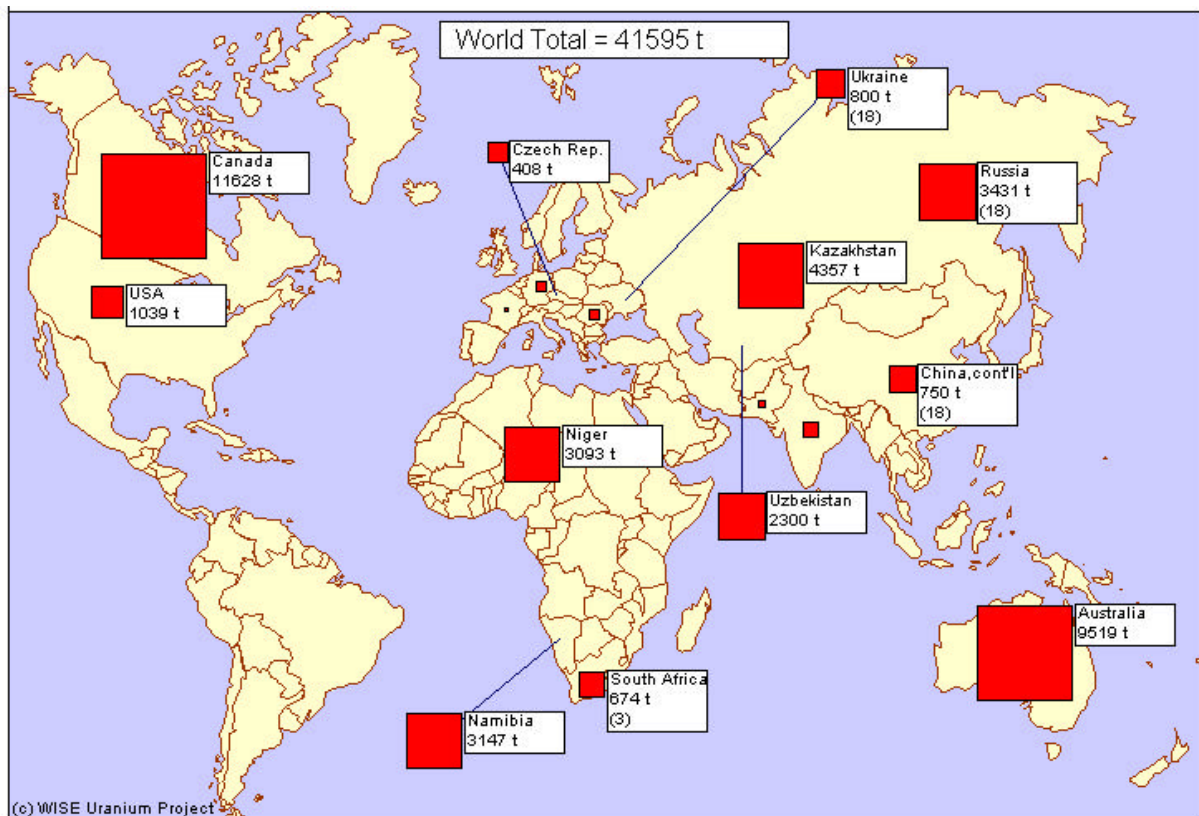
Die in der Abbildung angegebenen Zahlenwerte geben an, welche Menge an Uran zu geschätzten Kosten von weniger als 130 US-Dollar je Kilogramm Uran gefördert werden kann.

Besonders große Vorkommen sind in Australien, Kasachstan und Kanada zu finden.

Da die Uranvorräte in den einzelnen Ländern unterschiedlich leicht abgebaut werden können, entsprechen die Relationen der Uranvorräte nur teilweise den Mengenver-



hältnissen des jährlich produzierten Urans. Die Jahresproduktion an Uran ist in der folgenden Abbildung veranschaulicht:



**Abbildung 4: Weltweite Uranförderung im Jahr 2005**

Quelle: <http://www.wise-uranium.org/umaps.html?set=annu>

Wie bereits in der Einleitung angesprochen, entsprechen die Uran verbrauchenden Länder nicht den Produzentenländern. Die Jahresbilanz der einzelnen Länder zwischen Uranproduktion und –verbrauch ist in Anlage 3 wiedergegeben. Insbesondere die USA benötigen deutlich mehr Uran, als sie selbst produzieren, eine ähnliche Aussage lässt sich für praktisch alle Länder Europas treffen, die AKWs betreiben.

Der Uranabbau erfolgt je nach Zugänglichkeit des Uranerzes entweder im Tagebau oder im Untertagebau oder mit der so genannten „In-situ-Laugung“.

### 3.1.2 Umweltauswirkungen beim Uranerz-Abbau

In Kanada wird in mehreren Minen untertage Uran abgebaut. Hierzu werden Schächte und Stollen in die Erde getrieben und das unterirdisch geförderte Uranerz zunächst an die Erdoberfläche transportiert, wo weitere Verarbeitungsschritte folgen.

Da ein wesentliches Zerfallsprodukt von Uran das radioaktive Edelgas Radon-226 ist, ist in den Bergwerksstollen die Konzentration von Radon in der Luft deutlich erhöht. Um die radioaktive Belastung der Beschäftigten zu vermindern, werden die Stollen belüftet. Die aus dem Bergwerk entweichende radonhaltige Abluft wird an die Umgebung abgegeben. Somit wird die verminderte radioaktive Belastung der Minenbeschäftigten mit einer erhöhten Belastung der Umgebung und der Anwohner erkauft.

Zudem muss häufig das Bergwerk durch Abpumpen von Grundwasser trocken gehalten werden. In dem aus der Uran-Ader abgepumpten Wasser sind die wasserlöslichen Abbauprodukte des Urans sowie auch gelöstes Uran(salz) enthalten.

Beim Uranabbau über Tage wird zunächst das Deckgebirge über dem Uranerz abgetragen und das Erz freigelegt. Die Radon-Problematik stellt sich hier noch unmittelbarer als beim bergmännischen Untertage-Abbau, da das aus dem Erz entweichende Radon direkt an die Umgebung abgegeben wird, ohne dass irgendeine Möglichkeit der Emissionsminderung bestünde. Die größte Tagebau-Uranmine befindet sich in Namibia, die Rössing-Mine.

Im folgenden Bild ist die Ranger-Mine in Australien dargestellt, wo ebenfalls im Tagebau Uranerz gewonnen wird.

Die Ranger-Mine befindet sich innerhalb des Kakadu-Nationalparks; das Minengelände wurde im Rahmen der Genehmigung aus dem Nationalpark herausgeschnitten. Die Gegend nimmt in der Geschichte der australischen Aborigines einen wichtigen Platz ein. Trotz starker Proteste ging die Mine im Jahr 1980 in Betrieb.<sup>2</sup>



**Abbildung 5: Tagebau-Uranmine „Ranger Mine“ in Australien**

**Bildquelle:** <http://www.wise-uranium.org/uwai.html>

Da die Minenbetreiber die Menge des jährlich fallenden Regens unterschätzt und die Menge des verdunstenden Wassers aus den Abfall-Seen überschätzt hatten, sammelt sich mehr und mehr radioaktiv belastetes Wasser auf dem Betriebsgelände an. In einer besonders feuchten, regenreichen Saison erwirkte der Minenbetreiber eine

---

<sup>2</sup> The Ranger mine was the first new mine to go ahead in the second wave of uranium mining in Australia, and it holds a significant place in the history of indigenous land rights in this country. Despite an Aboriginal Land Rights Inquiry, the Ranger Uranium Environmental Inquiry, strong public opposition, determined opposition of the traditional owners and dissent within the Australian Labor Party, Ranger went into production in 1980. (Quelle: <http://www.anawa.org.au/nt/ranger.htm>)

Sondererlaubnis und leitete kontaminiertes Wasser in das Gewässersystem des Kakadu Nationalparks.

Auch im Normalbetrieb wurde die Umgebung immer wieder belastet. Um die von den Zufahrtsstraßen ausgehende Staubbelastung zu vermindern, wurde radioaktiv belastetes Wasser auf den Straßen versprüht.

Der mehr als 6 km<sup>2</sup> umfassende Abfall-See ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



**Abbildung 6: Abfall-See der Ranger-Mine in Australien**

**Bildquelle:** <http://www.anawa.org.au/nt/pic-ranger-dam.htm>

Die so genannte „In-situ-Laugung“ kann nur an wenigen Stellen angewandt werden. Das Uranerz muss sich hierfür in geringer Tiefe (weniger als 200 m) befinden, und die Gesteinsformation, die das Uran enthält, muss ausreichend porös sein. Zusätzlich muss die uran-führende Schicht mit einer wasserundurchlässigen Gesteinsschicht von Grundwasser führenden Schichten getrennt sein.

Um das Uran zu gewinnen, wird über ein senkrecht bis zur Uranader geführtes Rohr eine Säure (z.B. Schwefelsäure) in den Untergrund gepumpt, die das Uran aus dem Erz löst. Das gelöste Uran mischt sich mit dem Grundwasser und wird zu einem zweiten Rohr transportiert, wo das gelöste Uran wieder abgepumpt und zur Erdoberfläche transportiert wird, wo weitere Verarbeitungsschritte stattfinden.

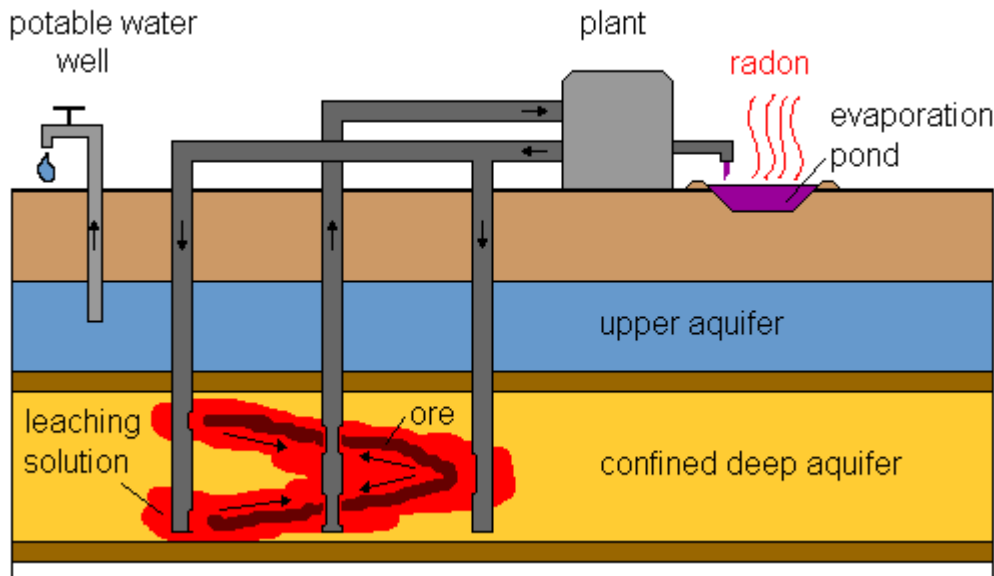


Abbildung 7: Prinzipielle Vorgehensweise bei der In-Situ-Laugung

Bildquelle: <http://www.wise-uranium.org/uisl.html>

Größtes Risiko dieses Verfahrens ist die Verschmutzung des Grundwassers, da nicht sicher gestellt werden kann, dass die Gesteinsschicht zwischen Uranerz und Grundwasser wirklich dicht bleibt und dass sie sich weit genug erstreckt, um auch bei Verlagerungsprozessen der uranhaltigen Säure noch den Schutz des Grundwassers zu gewährleisten.

Die Verschmutzung der Grundwasservorräte scheint der Regelfall bei der In-Situ-Laugung zu sein.

In Bulgarien wird bei einer In-Situ-Anlage davon ausgegangen, dass etwa 10% der von der In-Situ-Laugung beanspruchten Fläche durch versehentlich daneben gelaufene Säure so stark mit Säure bzw. Schwermetallen und radioaktiven Substanzen belastet ist, dass die ursprünglich vorgesehene landwirtschaftliche Nutzung nach dem Ende der Urangewinnung illusorisch ist.

In der Ukraine wurden in der Nähe einer In-Situ-Laugungsanlage bei Analysen des Oberflächenwassers sowie des aus einigen Hausbrunnen in den Nähe stammenden Wassers sehr hohe Konzentrationen an Sulfaten gefunden. Der pH-Wert des Wassers lag um 2 (zum Vergleich: reine Salzsäure hat einen pH-Wert von ca. 1, Trinkwasser von 7).

Für die Sanierung des kontaminierten Grundwassers gibt es bislang keine ausgereiften Konzepte, da die Strömungsvorgänge im Untergrund bis heute nur unvollständig verstanden sind.

Üblicherweise wird das kontaminierte Grundwasser abgepumpt, über Umkehr-Osmose von den belastenden Schwermetallen gereinigt und wieder in den Untergrund gepumpt. Zusätzlich werden reduzierende Substanzen zugefügt, die die gelösten Schwermetalle in wasser-unlösliche Salze umwandeln sollen.

Das funktioniert jedoch nur teilweise, so dass die Qualität des Grundwassers nach einer derartigen Sanierung bei weitem nicht an die Wassergüte vor Inbetriebnahme der In-Situ-Laugungsanlage heranreicht.

### 3.2 Uran-Extraktion aus dem Erz

Neben den im vorigen Abschnitt bereits erwähnten Gefahren durch austretendes Radon bzw. beim In-Situ-Leaching durch Kontamination des Grundwassers stellen vor allem die Abfälle bei der Weiterverarbeitung ein großes Umweltrisiko dar.

Nach dem Abbau wird das Uranerz zunächst vermahlen und dann mit Säure versetzt, die die metallischen Anteile im Erz herauslöst.

Dies kann entweder in einer Uranmühle erfolgen oder mittels der so genannten Haufenlaugung (engl. Heap Leaching). Die Haufenlaugung wird meist dann angewandt, wenn das Uranerz nur geringe bis geringste Urangehalte aufweist.

Bei der Haufenlaugung wird das vermahlene Uran zu einem großen Haufen aufgeschichtet und mit Säure berieselt. Die am Haufenfuß austretende Flüssigkeit enthält gelöstes Uran sowie Molybdän, Vanadium, Selenium, Eisen, Blei und Arsen. Die Extraktion des Urans bzw. der anderen gelösten Metalle innerhalb einer Uranmühle funktioniert nach dem gleichen Prinzip, nur mit dem Unterschied, dass der Lösungsprozess in einem geschlossenen Behälter stattfindet.

Durch verschiedene chemische Reaktionen wird das in der Lösung enthaltene Uran in die chemische Form des Uran-Oxids umgewandelt; hierbei werden auch die in der Lösung enthaltenen Stör-Metalle entfernt.

Das Uran-Oxid hat eine gelbe Farbe und wird daher auch „Yellow Cake“ genannt.

Es repräsentiert je nach Urangehalt im geförderten Erz einen Anteil zwischen 0,029% und 4% der ursprünglich geförderten Uranerzmenge.

Die restlichen 96% bis 99% des Erzes sind Abfall. Sie liegen nach der Extraktion des Urans als säurehaltige Suspension, d.h. als Mischung von pulverförmigen Rückständen mit flüssiger Säure, vor. Diese Suspension wird in große Sammelbecken befördert und dort bis auf Weiteres deponiert, damit die Flüssigkeit verdunsten kann.

Die prinzipiellen Risiken eines derartigen Abfallsees sind in der folgenden Abbildung veranschaulicht:

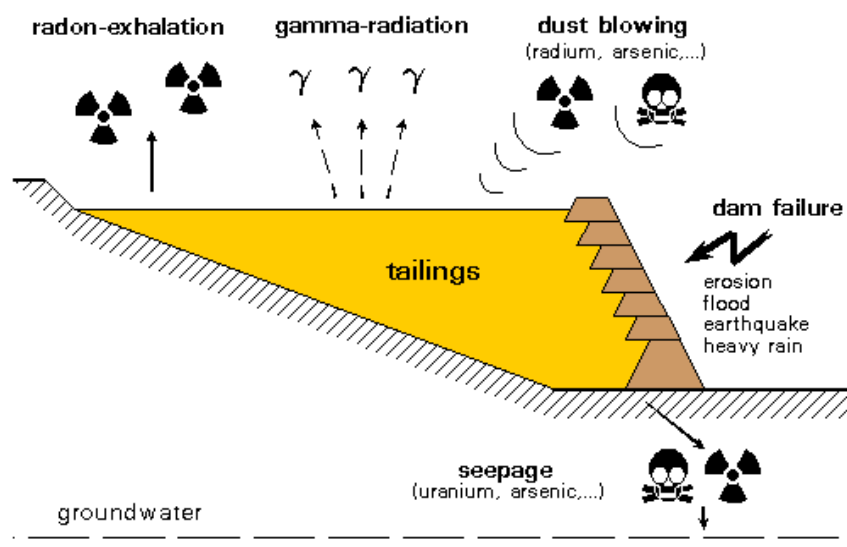


Abbildung 8: Abfall-"See" mit Abfällen der Uran-Extraktion und prinzipiellen Umweltrisiken

Bildquelle: [www.wise-uranium.org](http://www.wise-uranium.org)

Uranminen-typische Gefahren sind der Austritt von Radongas, der auf das noch in der Suspension enthaltene Rest-Uran zurück zu führen ist. Aus technischen Gründen kann bei der Extraktion des Urans nicht der gesamte Urananteil aus dem Erz herausgelöst werden, so dass etwa 10% des ursprünglich im Erz enthaltenen Urans im Abfall verbleiben.

Da die Abfall-Suspension noch etwa 85% der Radioaktivität beinhaltet, die ursprünglich im gefördertem Uranerz enthalten war, ist die emittierte radioaktive Strahlung nicht zu vernachlässigen.

Nach dem Verdunsten der Flüssigkeit und dem Austrocknen der Oberfläche kann durch den Wind radioaktiver Staub weggeweht und in der Umgebung verteilt werden, wenn die „Tailings“ – so der englische Fachausdruck – nicht abgedeckt werden. Wenn die Dämme nicht ausreichend stabil fundamentierte werden, besteht die Gefahr von Dammbürchen, die besonders verheerende Folgen haben, wenn noch Flüssigkeit im Tailing enthalten ist.

Durch starke Regenfälle kann der Abfallsee überlaufen.

Ein grundsätzliches Problem ist auch die Abdichtung des Abfallsees zum Untergrund hin, da nach der Befüllung des Sees eine nachträgliche Reparatur von Undichtigkeiten praktisch nicht mehr möglich ist. Hierdurch besteht die Gefahr einer Verseuchung des Grundwassers mit radioaktiven Substanzen sowie giftigen Schwermetallen wie beispielsweise Arsen, die in der Abfallsuspension enthalten sind.

Die hier angesprochenen Umweltrisiken bestehen übrigens auch beim Abbau anderer Bodenschätze, z.B. von Gold oder anderen Metallen. In solchen Fällen ist in der Regel keine radioaktive Belastung zu befürchten, doch auch hier sind in den Tailings Schwermetalle enthalten, die das Grundwasser bzw. angrenzende Flüsse im Fall von Dammbürchen verseuchen können.

In der Uranmine „Church Rock“ im US-Bundesstaat New Mexico brach im Jahr 1979 der Damm eines Uran-Abfallsees. Etwa 370.000 m<sup>3</sup> radioaktiv belastetes Wasser sowie 1000 Tonnen radioaktiv belasteter Schlamm traten aus und verseuchten den Rio Puerco. Bis zu 100 Kilometer flussabwärts wurden noch giftige Metalle nachgewiesen<sup>3</sup>. Die Nutzung des Flusses zur Trinkwassergewinnung war nach dem Dammbürch nicht mehr möglich. Die flussabwärts wohnenden Menschen wurden erst Tage nach dem Unglück informiert.

Nach dem Unglück stellte sich heraus, dass selbst ein Berater des Uranminen-Betreibers davor gewarnt hatte, den Damm an der vorgesehenen Stelle zu errichten, weil das Erdreich in diesem Bereich sehr anfällig für Setzungen sei. Seine Warnungen wurden ignoriert.

Auch in der Nähe des Colorado-Flusses, der u.a. die BewohnerInnen von Kalifornien mit Trinkwasser versorgt, befindet sich eine Deponie mit radioaktiver Suspension, aus der radioaktive Flüssigkeit austritt und in den Fluss gelangt.

---

<sup>3</sup> <http://www.ratical.org/radiation/KillingOurOwn/KOO9.html>

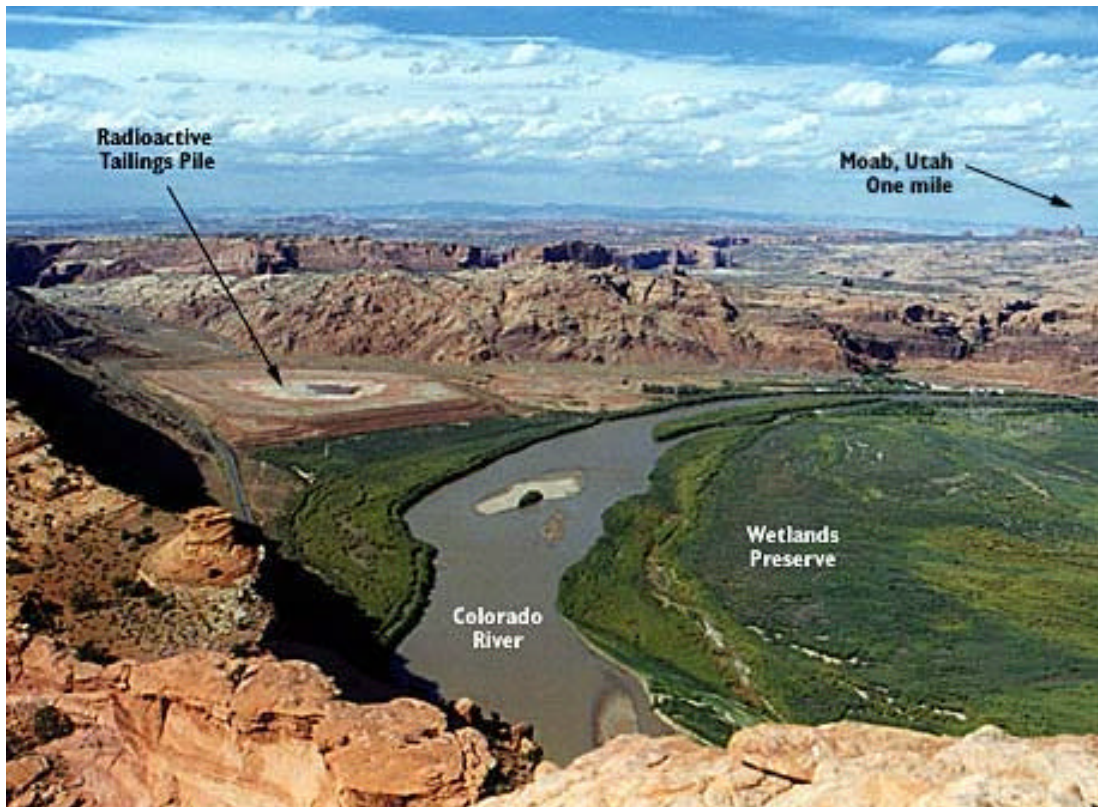


Abbildung 9: Uran-Abfalldéponie in der Nähe des Colorado-Flusses in den USA

Bildquelle: <http://www.moab-utah.com/rack/atlas.html>

In der vom multinationalen Konzern „Rio Tinto“ betriebenen Rössing-Mine in Namibia wurde trotz der im Konzern-Leitbild verkündeten „obersten Priorität für Gesundheit und Sicherheit“<sup>4</sup> nicht im erforderlichen Maß auf Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten geachtet.

Ein dort von 1977 bis Mitte der 1980er Jahre beschäftigter Arbeiter erkrankte im Jahr 1994 an Speiseröhrenkrebs und verstarb etwa ein Jahr später, obwohl er Nichtraucher war und nur mäßig Alkohol trank. Andere Ursachen als die dauernde Exposition zu uranhaltigem Staub sind somit nach Aussage eines Sachverständigen sehr unwahrscheinlich.

Ein Arbeitskollege des Verstorbenen berichtete, dass ihnen keine Schutzmasken zur Verfügung gestellt worden seien; als Schutzmaßnahme sei empfohlen worden, „von den Staubwolken ein paar Schritte Abstand zu halten“, obwohl das in der Praxis gar nicht funktioniere.

<sup>4</sup> “Wherever Rio Tinto operates, health and safety is the first priority. Group businesses also put sustainable development at the heart of their operations. They work as closely as possible with host countries and communities, respecting their laws and customs. For Rio Tinto it is important that the environmental effects of its activities are kept to a minimum and that local communities benefit as much as possible from operations.” (Quelle: [http://www.riotinto.com/howeare/business\\_overview.asp](http://www.riotinto.com/howeare/business_overview.asp))

### 3.3 Uran-Anreicherung

Das aus den Uranminen stammende Uran ist eine Mischung verschiedener Uran-Isotope. Isotope sind verschiedene „Sorten“ eines Elements, die sich chemisch gleich verhalten, aber bezüglich ihrer physikalischen Parameter (Atomkern-Masse) verschieden sind.

Die unterschiedlichen Uran-Isotope sind nicht alle für die Kernspaltung in Atomkraftwerken geeignet, weil sie teilweise dazu neigen, die für die Kernspaltung auf die U-rankerne geschossenen Neutronen zu absorbieren, statt sich spalten zu lassen.

Für die Kernspaltung in Atomkraftwerken, die mit „leichtem Wasser“ betrieben werden, wird das Uran-Isotop Uran-235 benötigt.

Im geförderten Uranerz-Konzentrat beträgt der Anteil von Uran-235 nur etwa 1%.

Damit die Kernspaltung ordnungsgemäß ablaufen kann, muss der Uran-235-Gehalt auf ca. 3,5% erhöht werden.

Hierbei macht man sich das unterschiedliche spezifische Gewicht der Uran-Isotope zu Nutze.

Das als Uran-Hexafluorid ( $UF_6$ ) vorliegende Uranerz-Konzentrat, ein gelbes Pulver, wird erhitzt und geht ab einer Temperatur von ca.  $60^\circ C$  in die Gasphase über.

Das Gas besteht aus einer Mischung von „leichten“ Uran-Fluor-Molekülen (mit Uran-235) und „schweren“ Uran-Fluor-Molekülen (mit Uran-238 und anderen „schwereren“ Isotopen).

Es wird in eine Zentrifuge geleitet und in Rotation versetzt. Die „schweren“ Uran-Fluor-Teilchen sammeln sich auf Grund ihrer höheren Masse vermehrt an der Außenwand der Zentrifuge an, die „leichten“ Uran-Fluor-Teilchen vermehrt am Innenring der Zentrifuge.

Da der Massenunterschied zwischen den „leichten“ und den „schweren“ Teilchen nur 0,85% beträgt, erfolgt beim Durchlauf einer Zentrifuge keine vollständige Trennung, sondern nur eine relative Anreicherung. Es werden deshalb mehrere Zentrifugen hintereinander geschaltet, in denen Schritt für Schritt der Anteil des erwünschten Uran-235 auf etwa 3,5 bis 4% erhöht wird.

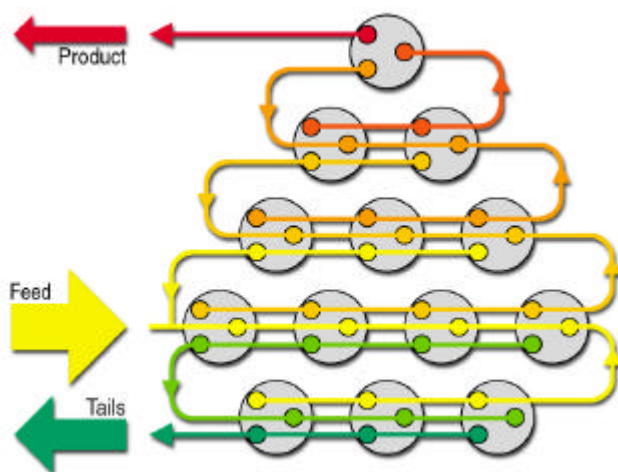


Abbildung 10: Hintereinanderschaltung mehrerer Zentrifugen zu einer Anreicherungs-Kaskade

Bildquelle: <http://www.urananreicherung.de/images/kaskadenschaltung.jpg>



Das Uran-Fluor-Gas aus dem letzten Anreicherungs-schritt wird wieder abgekühlt und erstarrt zu einem Feststoff.

Neben dem erwünschten Produkt mit dem erhöhten Anteil an Uran-235 entsteht bei der Anreicherung auch wieder Abfall („Tails“). Aus einer Tonne Uran-Hexafluorid-Isotopenmischung entstehen etwa 760 kg abgereichertes Uran mit einem Uran-235-Anteil von etwa 0,3% und etwa 240 kg angereichertes Uran mit einem Uran-Anteil von etwa 4%.

Eine solche Anlage steht beispielsweise im nordrhein-westfälischen Gronau. Das in Gronau angereicherte Uran wird in der Herstellungskette weiter gereicht an die Brennelementfabriken, die das Uran-Hexafluorid zunächst in Uranoxid umwandeln und dann zu Brennstäben verarbeiten.

Der größte Teil des abgereicherten Urans wird derzeit in Fässern auf dem Betriebsgeländer der Anreicherungsanlage Gronau gelagert.

Teile des abgereicherten Urans werden nach Russland exportiert.

Grundsätzlich kann abgereichertes Uran mit hoch-angereichertem Uran aus Militärbeständen vermischt und damit wieder AKW-fähiges Uran hergestellt werden.

Im Zuge der in den 1980er Jahren vereinbarten Abrüstung der Atomwaffen warten derzeit noch Tausende von Atomsprengköpfen in Russland auf ihre Verschrottung. Da das hoch angereicherte Uran wegen seines hohen Urangehalts nicht direkt zu Brennelementen verarbeitet werden kann, muss es „verdünnt“ werden. Eine Verdünnung mit Natururan ist weniger sinnvoll, weil das hoch angereicherte Uran relativ hohe Anteile des in Brennelementen unerwünschten Uran-234 enthält und auch natürliches Uran dieses Isotop in größerem Umfang enthält.

Das abgereicherte Uran aus Anreicherungsanlagen wie der in Gronau jedoch enthält auf Grund des Anreicherungsprozesses relativ geringe Anteile von Uran-234, so dass es sich ideal für die „Verdünnung“ bzw. Streckung des Waffen-Urans eignet.

Hierfür muss es jedoch zunächst von 0,3% auf ca. 0,7 bis 1,5% Uran-235-Anteil angereichert werden.

Das bedeutet, dass das „Abfall-Uran“ aus z.B. Gronau, das dort unter anderem wegen des mit abnehmendem Uran-235-Gehalt umgekehrt proportional zunehmenden Aufwands für die Anreicherung als nicht weiter verwertbar gilt, nochmals in eine Anreicherungsanlage eingespeist und dort nochmals angereichert wird. Die Mengenverhältnisse zwischen Produkt und Abfall sind wegen des geringen Uran-235-Gehalts allerdings noch ungünstiger als bei der ursprünglichen Anreicherung z.B. in Gronau.

### **3.4 Uranexport nach Russland**

Um mit den in Russland vorhandenen Nuklearanlagen zusätzlich Geld zu erwirtschaften, wurde im Jahr 2001 durch das russische Parlament gegen heftigen Widerstand der Öffentlichkeit und zahlreicher Politiker ein Gesetz verabschiedet, das den Import von verbrauchten Brennelementen nach Russland gestattet.

Im Gesetz ist geregelt, dass der Import zulässig ist, wenn die importierten Stoffe irgendwann Russland auch wieder verlassen, d.h. wieder in die Herkunftsländer exportiert werden.

Nach einigen Anlaufschwierigkeiten in den Jahren 2002 und 2003 hat sich inzwischen ein Muster von Brennelement- bzw. Urantransporten herausgebildet. Auffällig ist, dass in den meisten Verträgen zwischen Russland und ausländischen Partnern eine Klausel über die Rücknahme der in Russland entstandenen Abfälle fehlt. Damit wird die ohnehin kritikwürdige gesetzliche Regelung in Russland unterlaufen und der Export von Atommüll nach Russland für die Erzeugerländer sehr attraktiv.

Die Anreicherungsanlagen der Firmen Urenco (u.a. Anlage in Gronau) und Eurodif schicken jedes Jahr jeweils 7000 Tonnen abgereichertes Uran nach Russland und erhalten 1100 Tonnen natur-äquivalentes Uran zurück, dessen Gehalt an Uran-235 in etwa dem von natürlichem Uran entspricht.

In Russland wird das abgereicherte Uran auf einen Gehalt von ca. 0,7 bis 1,5% Uran-235 angereichert. Dabei entstehen Sekundärabfälle mit einem Uran-235-Gehalt von nur mehr 0,25%, die mit bislang unbekanntem Schicksal in Russland bleiben. Da Russland den Traum vom Schnellen Brüter nicht aufgegeben hat, wird offiziell verlautbart, dass das „doppelt abgereicherte Uran“ ja immer noch in Schnellen Brütern eingesetzt werden könnte.

Unter anderem auf Grund dieser Argumentation wird der Export des abgereicherten Urans aus Deutschland überhaupt erst möglich. Die entsprechenden Regelungen in Deutschland verbieten den Export von Abfall. Um dieses Verbot zu umgehen, wird das abgereicherte Uran als „Wirtschaftsgut“ deklariert, das in Russland weiter genutzt wird. Da jedoch ein Großteil der exportierten Masse – etwa 85% - in Russland verbleibt, handelt es sich bei dem Vorgang im Wesentlichen um einen verkappten Atommüll-export.

Für die beteiligten Anreicherungsanlagen in Westeuropa ist das eine praktische Lösung ihres Müllproblems, denn auch mit dem relativ geringen Gehalt an Uran-235 von nur 0,3% muss das abgereicherte Uran wie der Atommüll aus den AKWs in einem für Millionen Jahre sicheren Endlager eingelagert werden. Wenn zumindest ein Teil dieses Mülls in Russland bleibt, ist das um so besser.

Die Wieder-Anreicherung des westeuropäischen Atommülls findet in Russland im Wesentlichen in der Anlage „Mayak“ statt. Dort wird neben der Anreicherung von Uran auch das Plutonium von außer Dienst gestellten Atomwaffen verarbeitet. In den ersten Jahren ihres Betriebs wurden große Mengen radioaktiver Abwässer in den nahe gelegenen Fluss „Ob“ geleitet, der seitdem auch „radioaktiver Fluss“ heißt.

Im Jahr 1957 ereignete sich ein schwerer Unfall, bei dem große Mengen von Radioaktivität freigesetzt wurden. Nach offiziellen Angaben starben 200 Menschen an der Strahlung, 10000 Menschen musste evakuiert werden, und fast eine halbe Million Menschen wurde radioaktiver Strahlung ausgesetzt. Weite Landstriche waren für Jahrzehnte unbewohnbar.<sup>5</sup>

Ein als Atommülldeponie missbrauchter See in der Nähe der Anlage trocknete während einer Dürreperiode aus, so dass radioaktiver Staub kilometerweit in der Umgebung verteilt wurde.

Eine Untersuchung durch das russische Gesundheitsministerium ergab, dass etwa 28000 Menschen in der Umgebung der Anlage an schweren Strahlenschäden liden.<sup>6</sup>

In dieser Anlage wird jetzt westeuropäisches abgereichertes Uran wieder angereichert. Auf Grund der unrühmlichen Historie der Anlage muss davon ausgegangen werden, dass der Anreicherungsprozess die Umwelt deutlich stärker radioaktiv verseucht als die Anlage z.B. in Gronau und dass der verbleibende Rest-Abfall alles andere als sicher gelagert wird.

Der Export von abgereichertem Uran in eine solche Anlage ist vor diesem Hintergrund ein Verbrechen an den in der Region von Mayak lebenden Menschen, die einer zusätzlichen Strahlenbelastung ausgesetzt werden.

## 4 Schluss

Uranabbau und –aufarbeitung beinhalten schon prinzipbedingt wegen der Strahlenbelastung große Umweltgefahren. Da ein Großteil der Uranvorkommen außerhalb der Industriestaaten bzw. in Gebieten mit indigener Bevölkerung liegt, werden bei Abbau und Weiterverarbeitung häufig grundlegende Sicherheitsmaßnahmen missachtet, um Kosten zu sparen. Dies führt dazu, dass Menschen unnötigerweise radioaktiver Strahlung ausgesetzt werden und im Anschluss daran häufig jahrelang vor Gericht um Entschädigung streiten müssen – und nur selten auch tatsächlich entschädigt werden.

Außerdem wird praktisch das gesamte Gelände einer Uranmine im Lauf der Betriebsjahre radioaktiv verseucht. Die auf dem Gelände „zwischengelagerten“ Tailings sind de facto Müllberge, deren Entsorgung den Ländern aufgebürdet wird, in denen sich die Uranminen befinden.

Vor dem Hintergrund, dass sich ein Großteil der Uranvorräte in Ländern befindet, die selbst keine Atomenergie nutzen, ist die Verteilung von Nutzen (d.h. Stromerzeugung in den Industrieländern) und Lasten (Gesundheits- und Umweltgefährdung der Menschen in den Abbaugebieten) in höchstem Maße ungerecht.

Die Anreicherung von Uran findet auch in den Industrieländern statt. Allerdings haben unter Mitwirkung der russischen Atomindustrie die westeuropäischen Anreicherungsanlagen einen Weg gefunden, einen Teil ihres Uranabfalls nach Russland zu exportieren, wo etwa 85% der exportierten Menge verbleiben. Die Anlage in Russland, in der die Verarbeitung des exportierten Urans stattfindet, zählt zu den schlimmsten Atomanlagen überhaupt; die Gegend gilt als die am stärksten radioaktiv verseuchte Gegend der Welt. Ein schwerer Unfall mit Tausenden von Toten und Hunderttausenden Strahlengeschädigter im Jahr 1957 sowie die laxen Sicherheitsvorkehrungen führen auch heute zu weiterer Verseuchung von Menschen und Um-

---

<sup>5</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Mayak>

<sup>6</sup> [http://info.greenpeace.ch/de/atom/atommuell/atommuell\\_archiv/archiv\\_031001\\_mayak](http://info.greenpeace.ch/de/atom/atommuell/atommuell_archiv/archiv_031001_mayak)

welt. Der Export von Uran in eine solche Anlage ist daher ein Verbrechen gegen die Menschen, die in der Umgebung der Anlage „Mayak“ leben.

## 5 Literatur

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brutreaktor>

<http://www.energieinfo.de/eglossar/node22.html>

<http://www.wise-uranium.org/umaps.html?set=anrg>

[www.wise-uranium.org/pdf/duabfall.pdf](http://www.wise-uranium.org/pdf/duabfall.pdf)

[www.antiatom.ru/download/040615report.pdf](http://www.antiatom.ru/download/040615report.pdf)

[www.umweltinstitut.org/frames/all/m410.htm](http://www.umweltinstitut.org/frames/all/m410.htm)

[www.bfs.de/bfs/recht/rsh/kreislauf.pdf](http://www.bfs.de/bfs/recht/rsh/kreislauf.pdf)

[www.boell.de/downloads/oeko/mythos\\_atom\\_diehl.pdf](http://www.boell.de/downloads/oeko/mythos_atom_diehl.pdf)

<http://www.anawa.org.au/nt/ranger.htm>

[www.anawa.org.au/nt/ranger-breaches.html](http://www.anawa.org.au/nt/ranger-breaches.html)

[www.info.greenpeace.ch/de/atom/atommuell/atommuell\\_archiv/archiv\\_031001\\_maya\\_k](http://www.info.greenpeace.ch/de/atom/atommuell/atommuell_archiv/archiv_031001_maya_k)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Mayak>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium\\_hexafluoride](http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_hexafluoride)

[www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user\\_upload/themen/atomkraft/uranreport2006\\_lf.pdf](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/uranreport2006_lf.pdf)

[www.urananreicherung.de](http://www.urananreicherung.de)

<http://www.ratical.com/radiation/KillingOurOwn/KOO9.html>

# Anhang

**Anlage 1: Überblick über die weltweit betriebenen Atomkraftwerke**

<b>Atomkraftwerke weltweit (Stand: 2006)</b>			
Land	AKW in Betrieb	AKW in Bau	Atomstromproduktion in GWh(e)
USA	103	-	787.220
Frankreich	59	-	428.700
Japan	55	1	291.542
Russland	31	5	144.300
Großbritannien	19	-	69.237
Südkorea	20	1	141.179
Deutschland	17	-	158.709
Kanada	18	-	92.398
Ukraine	15	2	84.814
Indien	16	7	15.594
Schweden	10	-	65.054
China	10	5	54.845
Spanien	8	-	57.431
Belgien	7	-	44.314
Taiwan (Stand: 2004)	6	2	37.371
Slowakei	5	-	16.599
Tschechien	6	-	24.499
Schweiz	5	-	26.573
Finnland	4	1	21.999
Bulgarien	2	-	18.130
Ungarn	4	-	12.508
Litauen	1	-	8.650
Brasilien	2	-	13.769
Argentinien	2	1	7.153
Pakistan	2	1	2.548
Südafrika	2	-	10.074
Mexiko	2	-	10.400
Rumänien	1	1	5.178
Niederlande	1	-	3.270
Slowenien	1	-	5.289
Armenien	1	-	2.422
Iran	-	1	0
Nordkorea (Stand: 2004)	-	1	0
<b>Summe</b>	<b>439</b>	<b>27</b>	

Tabelle: Atomkraftwerke weltweit, Stand 31.8.2004

Quelle: Umweltinstitut München e.V., <http://www.umweltinstitut.org/frames/all/m410.htm>  
aktualisiert mit Daten von der IAEO, <http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>

**Anlage 2: Brutreaktoren**

Betrieb von	bis	Land	Ort	Name	Leistung (MW)	Bemerkung
1946		USA		Clementine	0,025	Erster Brutreaktor, diente als Neutronenquelle für die Forschung
1951	1964	USA	Idaho	EBR-I	0,2	Zweiter Brutreaktor, lieferte die erste nuklear erzeugte, elektrische Energie
1961	1964	USA	New Mexico	LAMPRE		
1961	1994	USA	Idaho	EBR-II	20	
1963	1972	USA	Detroit	FERMI	94	
1967	1983	Frankreich	Cadarache	Rapsodie	40	Testreaktor
1973	1999	Kasachstan	Aktau	BN-350	150	
1974		Frankreich	Marcoule Gard	Phénix	250	
1974	1994	Großbritannien	Dounreay	PFR	270	Testreaktor
1978		Japan	Joyo		100	Forschungsreaktor
1980		USA	Washington (Bundesstaat)	FFTF	400	Experimenteller Reaktor.
1980		Russland	Belojarsk	BN-600	600	Weltgrößter schneller Brüter. (1977 - 1978 massive Sicherheitsprobleme mit den Nachbarblöcken.)
1985		Indien	Kalpakkam	FBTR	40 <sub>th</sub> , 13 <sub>el</sub>	Testreaktor
1986	1996	Frankreich	Creys-Malville	Superphénix	1180	1996 nach Unfällen vom Netz genommen, bleibt nach Regierungsentscheidung 1998 endgültig abgeschaltet
1987		Italien		PEC	118	
1991		Japan	Tsuruga		300	
1994	1995	Japan	Fukui	Monju	280	nach Natrium-Unfall seit 8. Dezember 1995 außer Betrieb, erneuter Betrieb ab 2008 geplant
	1991	Deutschland	Kalkar	SNR-300	327	Bauarbeiten 1991 eingestellt, wurde nie in Betrieb genommen
		Russland	Belojarsk	BN-800		geplant
		Volksrepublik China		CEFR		geplant

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brutreaktor>

Anlage 3: Bilanz zwischen Uranproduktion und –verbrauch

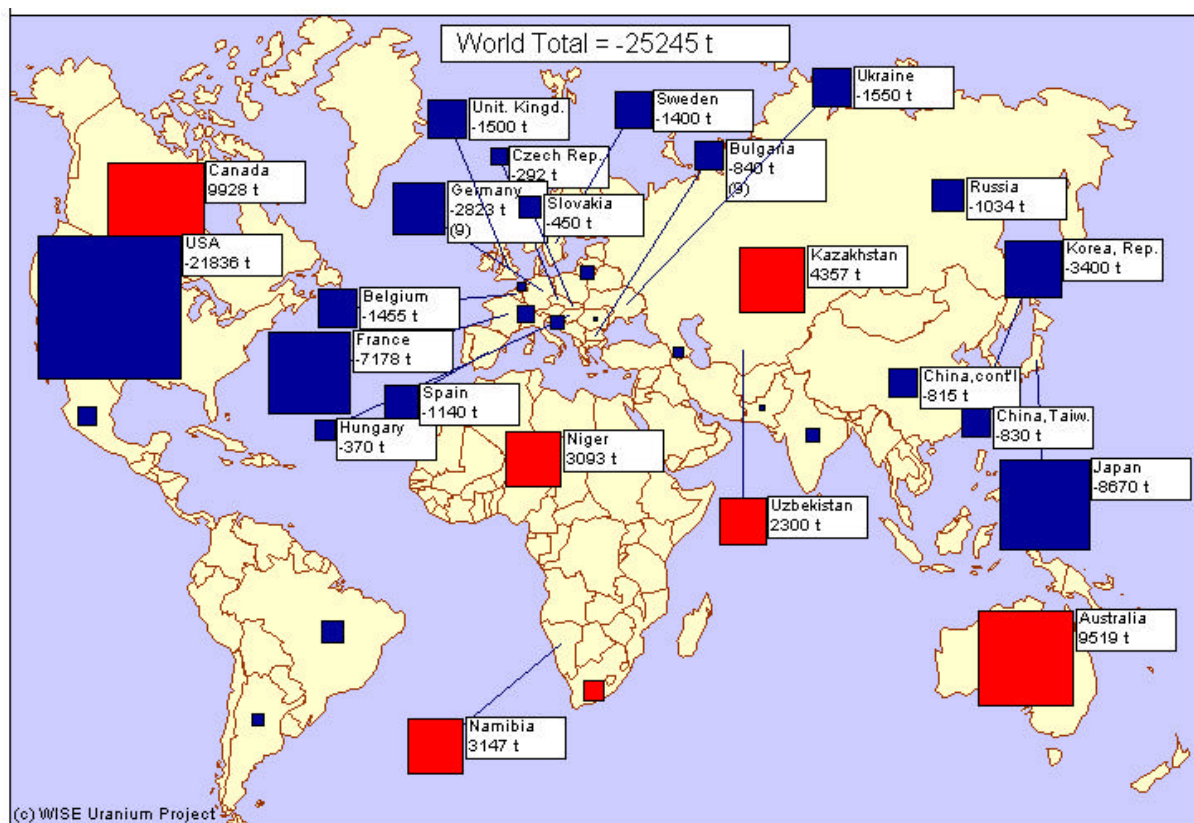


Abbildung 11: Jahresbilanz zwischen Uranproduktion und -bedarf für das Jahr 2005

Quelle: <http://www.wise-uranium.org/umaps.html?set=annu>



Anlage 4: Abfallmengen bei der Produktion von Uran

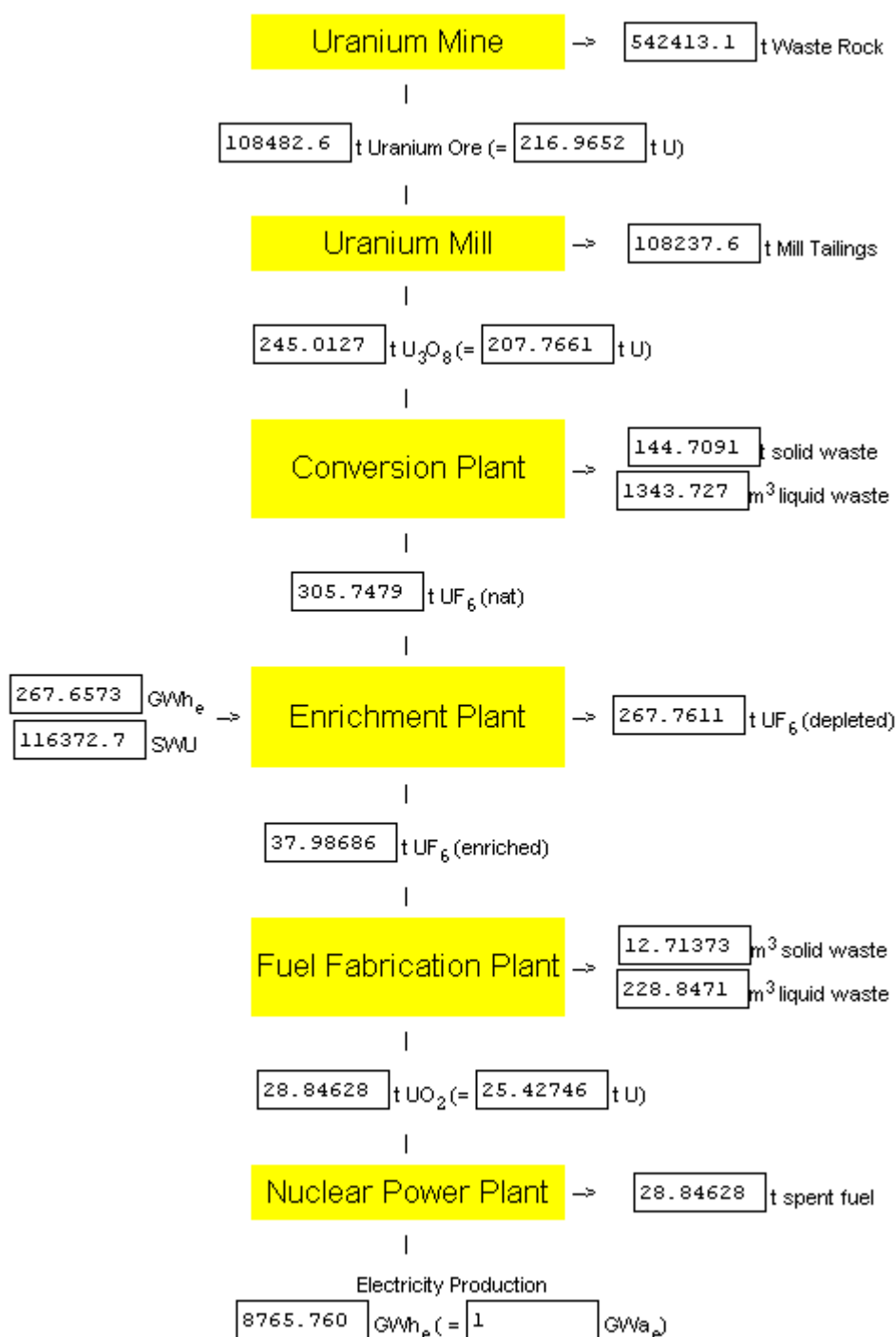


Abbildung 12: Massenbilanz für die Produktion von elektrischem Strom aus Uran

Quelle: <http://www.wise-uranium.org/nfcm.html>