

## Wie lange reicht das Uran?

*Finnland und Frankreich haben sich für den Bau neuer Kernkraftwerke entschieden, Großbritannien und die Schweiz erwägen Neubauten. Die bevölkerungsreichsten Länder Asiens setzen forciert auf Kernenergie und die USA planen Neubauprojekte. Das hat der Diskussion über die Ausstiegspolitik in Deutschland neue Nahrung gegeben. Seitdem wurde von Seiten der rot-grünen Koalition und ihr nahe stehender Organisationen wie Greenpeace der Ausstiegskurs verstärkt mit dem Argument verteidigt, das Uran sei ohnehin in wenigen Jahrzehnten aufgebraucht [1; 2].*

*Im nachfolgenden Text wird aufgezeigt, dass die wirtschaftlich nutzbaren Uranvorkommen eine langfristige und auch steigende Nutzung der Kernenergie erlauben. Uran ist von der Ressourcenbasis her eine nachhaltige Energiequelle.*

## Der Uranmarkt heute

Im September 2005 waren weltweit 442 Kernkraftwerke mit einer Leistung von 368 611 Megawatt installiert und deckten gut 16 % des globalen Strombedarfs [3]. In der EU-25 lag der Versorgungsanteil der Kernenergie im Jahre 2004 bei rund einem Drittel, in Deutschland bei 27,5 %. Der Jahresbedarf an Uran beläuft sich weltweit auf rund 68 000 t [4]. Nur gut die Hälfte davon, nämlich 35 613 t, wurde 2003 durch die laufende Uranproduktion gedeckt [5]. Die hauptsächlichen Lieferländer waren Kanada (30,5 %) und Australien (22,2 %); weitere wichtige Uranproduzenten waren Kasachstan, Niger, Russland, Namibia und Usbekistan.

Die Uranproduzenten leiden schon seit vielen Jahren darunter, dass fast die Hälfte des Bedarfs durch Uran aus sekundären Quellen – Auflösung von Vorräten an Natururan und angereichertem Uran bei den Stromversorgern, Uran (und in Zukunft auch Plutonium) aus der Abrüstung von Atomwaffen u. a. – gedeckt wird. Infolgedessen lag der Uranpreis in den letzten beiden Jahrzehnten so niedrig, dass viele Minen geschlossen wurden und die Suche nach neuen Lagerstätten auf ein Minimum zurückgefahren wurde.

Auf dem Uranmarkt zeichnet sich seit 2003 ein Wandel ab: Der Zustrom von Uran aus sekundären Quellen wird in den nächsten Jahren deutlich zurückgehen und der zunehmende Bau neuer Kernkraftwerke in Asien, Europa und demnächst wohl auch Amerika wird eine steigende Nachfrage nach Uran bewirken. Deshalb ist seit zwei Jahren ein deutlicher Anstieg des Uranpreises auf dem Spotmarkt, dem Markt für kurzfristige Lieferungen, zu verzeichnen, nämlich von ca. 10 US\$/lb  $U_3O_8$ <sup>1)</sup> Anfang 2003 auf ca. 30 US\$/lb  $U_3O_8$  zur Jahresmitte 2005 [6]. Das hatte zur Folge, dass die Uranproduzenten begonnen haben, ihre Kapazitäten auszuweiten. Im Jahre 2004 erreichte die Förderung bereits 40 251 t, 13 % mehr als 2003, und deckte damit etwa 60 % des Bedarfs [5]. Seitdem ist auch eine Wiederbelebung der Uranexploration zu beobachten [5].

<sup>1)</sup>  $U_3O_8$ , Uranoxid, aufgrund seiner Farbe als „yellow cake“ bezeichnet, ist das aus Uranerz gewonnene Rohprodukt des Uranbergbaus. 2,6 lb  $U_3O_8$  entsprechen 1 kg Uran (U); 10 US\$/lb  $U_3O_8$  = 26 US\$/kg U.

## Uranvorkommen, Uranreserven

Uran ist ein Schwermetall. Es ist nicht selten, sondern kommt in der Erdkruste etwa ebenso häufig vor wie Zinn und Wolfram [7]. Behauptungen, die Uranreserven würden bald zur Neige gehen, beruhen auf einem Missverständnis des geologischen Begriffs „Reserven“ ganz allgemein (nicht nur das Uran betreffend), das auch schon bei dem Ehepaar Dennis und Donella Meadows bestand, als es für den „Club of Rome“ den längst von der Wirklichkeit widerlegten Bestseller „Limits to Growth“ (Grenzen des Wachstums) schrieb. Unter „Reserven“ versteht der Geologe nämlich nicht die Gesamtheit der Vorkommen eines mineralischen Rohstoffes auf unserem Planeten, sondern nur denjenigen Teil der bislang bekannten Vorkommen, der mit heutigen Abbaumethoden wirtschaftlich gewinnbar ist, d. h. zu heutigen Marktpreisen profitabel gewonnen werden kann. Das ist eine mehrfache Einschränkung:

- **Bekannte Vorkommen:** Die Suche nach Mineralien ist aufwendig. Bergbauunternehmen investieren nur so viel Geld, dass sie genügend Abbaurechte haben, um ihr erwartetes jährliches Liefervolumen für die nächsten ein bis zwei Jahrzehnte gesichert zu sehen. Bei Uran gilt das genauso wie bei anderen Rohstoffen.
- **Heutige Marktpreise:** Welcher Teil der bekannten Vorkommen wirtschaftlich gewinnbar ist, hängt vom erzielbaren Marktpreis ab. Steigt der Marktpreis, so werden auch „ärmere“ Erze wirtschaftlich gewinnbar.
- **Heutige Abbaumethoden:** Der technische Fortschritt kann bislang unwirtschaftliche Lagerstätten wirtschaftlich nutzbar machen oder die Ausbeute einer Lagerstätte erhöhen, wie z. B. beim Erdöl die sekundären und tertiären Fördermethoden.

Die zuverlässigste und vollständigste Quelle über die Versorgung mit Uran ist der seit 1965 alle zwei Jahre erscheinende Bericht „Uranium: Resources, Production and Demand“, der gemeinsam von der Nuclear Energy Agency der OECD (OECD/NEA) und der International Atomic Energy Agency (IAEA) der Vereinten Nationen herausgegeben wird. In Fachkreisen ist er als „Red Book“ bekannt. Die jüngste Ausgabe „Uranium 2003: ...“ erschien 2004 [8]. Auf das Datenmaterial des „Red Book“ stützt sich auch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Der heutige Kenntnisstand der Uranvorkommen lässt sich danach wie folgt zusammenfassen (Tab. 1):

Kategorie	Uranvorräte, nach Produktionskosten			Statische Reichweite <sup>1)</sup>
	< 40 \$/kg U	< 80 \$/kg U	< 130\$/kg U	<130 \$/kg U
Hinreichend gesicherte Vorräte	> 1.730.000	2.458.000	3.169.000	47 Jahre
Geschätzte zusätzliche Vorräte – Kategorie I	> 793.000	1.079.000	1.419.000	
Zwischensumme: <b>Bekannte Vorräte</b>	<b>&gt; 2.523.000</b>	<b>3.537.000 <sup>2)</sup></b>	<b>4.588.000</b>	67 Jahre
Geschätzte zusätzliche Vorräte – Kategorie II	k. A.	1.475.000	2.255.000	
Summe		5.012	6.843.000	101 Jahre
Vermutete Vorräte	k. A.	k. A.	4.437.000	
Summe			11.280.000	166 Jahre

k. A. = keine Angabe <sup>1)</sup> bei konstantem jährlichem Verbrauch von 68 000 t <sup>2)</sup> „Reserven“; statische Reichweite: 52 Jahre

**Tabelle 1: Konventionelle Uranvorräte und ihre Reichweite**

Die bekannten Uranreserven der niedrigsten Gewinnungskosten-Klasse (bis 40 US\$/kg U) belaufen sich auf dem Stand vom 1. 1. 2003 auf rund 2,5 Mio. t („hinreichend gesicherte Vorräte“ und „geschätzte zusätzliche Vorräte der Kategorie I“). Nimmt man die nächst höhere Kostenklasse (40–80 US\$/kg U) hinzu, so steigt der Wert auf rund 3,5 Mio. t. Das sind beim heutigen Uranpreis die „Reserven“ im geologischen Sinne. Beim heutigen Jahresverbrauch von 68 000 t reichen die Reserven also für mehr als 50 Jahre. Das ist eine größere Reichweite als die vieler anderer gebräuchlicher Metalle. Unter Einschluss der obersten betrachteten Kostenklasse (80–130 US\$/kg U) erhält man rund 4,6 Mio. t bekannte Uranvorräte und eine Reichweite von 67 Jahren.

Als „geschätzte zusätzliche Vorräte der Kategorie I“ wird Uran in bekannten Lagerstätten erfasst, für die nicht genügend Messwerte und Bohrproben vorliegen, um sie als „hinreichend gesicherte Vorräte“ zu klassifizieren. Bei den „geschätzten zusätzlichen Vorräten der Kategorie II“ handelt es sich um Lagerstätten, deren Existenz im Einzugsbereich bekannter Vorräte aufgrund der geologischen Beschaffenheit angenommen wird; diese belaufen sich nach heutigem Kenntnisstand auf rund 2,4 Mio. t.

Darüber hinaus haben einige Länder abgeschätzt, wie viel wirtschaftlich gewinnbares Uran sich in bislang unbekanntem Lagerstätten befinden dürfte. Sie stützen sich dabei auf die Kenntnis der Geologie ihres Landes und erfassen Strukturen, die nach aller Erfahrung abbauwürdige Konzentrationen von Uran erwarten lassen, z. B. bestimmte Sandstein-Formationen. Diese Kategorie wird als „vermutete Vorräte“ (englisch: „speculative resources“) bezeichnet; sie werden auf rund 7,5 Mio. t geschätzt, wobei die Zuordnung zu Kostenkategorien lückenhaft ist.

Neben den bislang dargestellten Uranressourcen in „konventionellen“ Lagerstätten sind sehr große Mengen an Uran in Phosphaten und im Meerwasser zu finden. In Phosphaten sind etwa 22 Mio. t Uran enthalten, deren Gewinnungskosten auf etwa 60–100 US\$/kg geschätzt werden. Zeitweise wurde Uran als Nebenprodukt der Phosphatproduktion gewonnen. Bei heutigen Uranpreisen lohnt diese Gewinnung aber nicht. Weitere 4 Mrd. t Uran sind im Meerwasser gelöst. Hier liegen die Gewinnungskosten noch höher, nämlich in der Größenordnung von 300 US\$/kg. In Zukunft könnte aber auch ein Teil der unkonventionellen Uranvorkommen wirtschaftlich relevant werden.

Seit Anbeginn bis einschließlich 2002 sind weltweit 2 011 360 t Uran produziert worden. Die bekannten (noch nicht genutzten) Uranreserven sind aber im selben Zeitraum durch Prospektion und Exploration laufend erhöht worden. Allein in den zwei Jahren zwischen dem neuesten „Red Book“ und der vorangegangenen Ausgabe stiegen sie um 655 000 t bzw. den zehnfachen Jahresbedarf.

Über die größten Uranreserven verfügt Australien, gefolgt von Kasachstan, den USA, Kanada und Südafrika. Nach der geographischen Verteilung der Ressourcen ist die Versorgungssicherheit beim Uran als ähnlich günstig zu beurteilen wie bei der Steinkohle.

### **Erwartete Entwicklung der Uranreserven, Nachhaltigkeit von Uran**

Der Uranbergbau ist, verglichen mit anderen Metallen, noch sehr jung. Es hat nur einen ausschließlich zivilen Zwecken dienenden industriellen Explorationszyklus gegeben, nämlich von 1970 bis 1985. In diesen 15 Jahren wurde die Rohstoffbasis für über 50 Jahre Kernenergienutzung gelegt. Dabei blieben viele weiße Flecken auf der Landkarte und mit den damals überwiegend eingesetzten einfachen Messmethoden konnte man nur relativ oberflächennahe Lagerstätten aufspüren. Aufgrund der chemischen Eigenschaften des Urans konnte es in Gesteinen unterschiedlichen Alters Lagerstätten ausbilden. Bis heute sind schon mindestens 14 verschiedene Typen von Uranlagerstätten bekannt [7]. Es ist wahrscheinlich, dass man in Zukunft auf weitere Typen von Lagerstätten stoßen wird.

Ausgelöst durch den Preisanstieg der letzten beiden Jahre scheinen wir am Anfang eines neuen Explorationszyklus zu stehen, der zu einer deutlichen Erhöhung der Uranreserven führen wird, nicht zuletzt auch wegen der verbesserten Explorationsmethoden, die heute zur Verfügung stehen. Dadurch wird die Reichweite der Reserven weiter zunehmen. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die Explorationskosten bei Uran recht niedrig liegen, jedenfalls im Vergleich zu Erdöl. Dazu macht Colin MacDonald folgende Rechnung auf [6]: Mit einem Aufwand von 4,6 Mrd. US\$ wurden im ersten Explorationszyklus 3,15 Mio. t Uranreserven gefunden. Die Exploration kostete also rund 1,50 US\$/kg U. Das ist ein geringer Bruchteil des heutigen Uranpreises von 30 US\$/lb  $U_3O_8$  bzw. 78 US\$/kg U auf dem Spotmarkt. Beim Erdöl liegen die Explorationskosten im Mittel bei 6 US\$/barrel und damit etwa 300 mal so hoch, wenn man die Kosten auf den jeweiligen Energieinhalt bezieht [7]. Auch absolut sind die jährlichen Explorationskosten beim Uran mit weniger als 200 Mio. US\$ pro Jahr recht niedrig im Vergleich zu denen von Erdöl, die in der Größenordnung von 20 Mrd. US\$ liegen [9].

Ebenso wie bei anderen Metallen wird es also beim Uran in der absehbaren Zukunft möglich sein, den laufenden Verbrauch durch Entdecken neuer Reserven mindestens auszugleichen. Uran trägt also zu einer nachhaltigen Energieversorgung bei.

Das gilt umso mehr, als die Urankosten heute nur 5 – 10 % der Stromerzeugungskosten von Kernkraftwerken ausmachen. Man kann also eines Tages auch auf Uranvorräte mit wesentlich höheren Gewinnungskosten zurückgreifen, ohne dass die Kernenergie dadurch unwirtschaftlich würde.

### **Beeinflussbarkeit der Nachfrage nach Uran**

Uran unterscheidet sich von den anderen Metallen dadurch, dass es ein Energierohstoff ist und dass es für dieses Metall keine konkurrierenden Verwendungszwecke gibt. Dasselbe gilt auch für Thorium, das aber bislang keine wirtschaftliche Bedeutung erlangt hat.

Geht man für die Zukunft vom heutigen Stand der Reaktortechnik aus, so hängt der künftige Uranbedarf in erster Linie vom Ausmaß der jährlichen Stromerzeugung in Kernkraftwerken ab. Die IAEA rechnet bis 2030 mit einer Zunahme der nuklearen Stromerzeugung um 19 bis 81 % [10]. Die Steige-

rung des thermischen Wirkungsgrades beim deutsch-französischen EPR, der jetzt erstmals in Finnland gebaut wird, führt dagegen zu einem um 10 bis 15 % geringeren Uranverbrauch je Kilowattstunde gegenüber den heute in Betrieb befindlichen Reaktoren.

In den heutigen Reaktoren wird nicht einmal 1 % der im bergmännisch gewonnenen Uran enthaltenen Atome tatsächlich gespalten. Die Ausbeute lässt sich durch Wiederaufarbeitung der gebrauchten Brennelemente und Wiederverwendung (Rezyklierung) des Plutoniums sowie des unverbrauchten Urans um bis zu 30 % steigern. Das war früher im Atomgesetz vorgeschrieben und wird in einem Teil der deutschen Reaktoren (noch) praktiziert.

Darüber hinaus gibt es ein großes technologisches Potenzial für die Entwicklung uransparender Reaktortypen bis hin zum Schnellen Brüter, mit denen sich ein Vielfaches der Energieausbeute je Kilogramm Natururan erzielen lässt. Damit wäre die Reichweite der Uranreserven nach menschlichen Maßstäben praktisch unbegrenzt. Das gilt erst recht, wenn man bedenkt, dass man wegen des geringen Uranverbrauchs auch auf Uranvorräte mit hohen Gewinnungskosten zurückgreifen könnte, ohne die Wettbewerbsfähigkeit solcher Kernkraftwerke zu gefährden. Zudem könnten in speziellen Reaktoren auch die Thoriumvorräte, die etwa ebenso groß sind wie die Uranvorräte, genutzt werden. Die technische Machbarkeit eines Brennstoffkreislaufs mit Thorium ist erwiesen.

Hinsichtlich des Einsatzes von Brutreaktoren und anderer uransparender Reaktortypen gibt es angesichts der großen und wachsenden Uranreserven auf viele Jahrzehnte hinaus keinen zwingenden Entscheidungsbedarf, jedoch ist es ratsam, alle diese Optionen offen zu halten.

Soweit es vom Markt her notwendig werden sollte, ist es also vom technologischen Potenzial her machbar, den spezifischen Uranbedarf drastisch abzusenken.

## Zusammenfassung

- Ebenso wie bei anderen Metallen wird es beim Uran in der absehbaren Zukunft möglich sein, den laufenden Verbrauch durch Entdecken neuer Reserven mindestens auszugleichen.
- Steigende Uranpreise haben nur einen geringen Einfluss auf die Stromerzeugungskosten und damit auf die Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie.
- Die Uranreserven ermöglichen einen langfristigen Einsatz der Kernenergie – bei Bedarf auch in erheblich erhöhtem Ausmaß. Auf absehbare Zeit besteht keine Notwendigkeit, Schnelle Brüter kommerziell einzusetzen.
- Die Uranreserven liegen überwiegend in politisch stabilen Regionen. Die Versorgungssicherheit ist hoch.
- Uran trägt zu einer nachhaltigen Energieversorgung bei.

## Literatur

1. Atomkraft: Wiedergeburt eines Auslaufmodells? Themenpapier des Bundesumweltministeriums, S. 20. Undatiert (offenbar Ende 2004)  
[http://www.bmu.de/files/atomenergie/downloads/application/pdf/themenpapier\\_atomkraft.pdf](http://www.bmu.de/files/atomenergie/downloads/application/pdf/themenpapier_atomkraft.pdf)
2. Atomenergie: keine Rettung für das Klima. Greenpeace, Juli 2005  
[http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user\\_upload/themen/atomkraft/greenpeace\\_atomkraft\\_und\\_klimaschutz.pdf](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/greenpeace_atomkraft_und_klimaschutz.pdf)
3. IAEA Power Reactor Information System (PRIS)  
<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>
4. Uranium Markets. Informationspapier der World Nuclear Association (WNA), London, Oktober 2004  
[http://www.world-nuclear.org/info/printable\\_information\\_papers/inf22print.htm](http://www.world-nuclear.org/info/printable_information_papers/inf22print.htm)
5. World Uranium Mining. WNA Informationspapier, London Juli 2005  
[http://www.world-nuclear.org/info/printable\\_information\\_papers/inf23print.htm](http://www.world-nuclear.org/info/printable_information_papers/inf23print.htm)
6. Colin MacDonald, Are Higher Prices Helping Uranium Supply? WNA Annual Symposium 2005, London, 7-9 Sept. 2005  
<http://www.world-nuclear.org/sym/subindex.htm>
7. Supply of Uranium. London, Informationspapier der WNA, September 2005 (siehe Appendix "The Sustainability of Mineral Resources")  
<http://www.world-nuclear.org/info/inf75.htm>
8. Uranium 2003: Resources, Production and Demand. OECD-NEA & IAEA, Paris/Wien 2004
9. Rob Arnott: Oil Industry Trends. PowerPoint Presentation, 2004  
<http://www.oxfordenergy.org/presentations/OilIndustryTrends.pdf>
10. IAEA: Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030. Wien, 2005  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/RDS1-25\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/RDS1-25_web.pdf)