

HINTERGRUNDINFO URANPREISE

Einfluss der Urankosten auf die Stromerzeugungskosten in Atomkraftwerken

von Jörg Schindler und Dr. Werner Zittel

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik Ottobrunn, April/Mai 2007

Hintergrund

Wiederholt konnte man in den letzten Monaten Meldungen zu gestiegenen Uranpreisen lesen. In der Tat sind diese seit dem Jahr 2000 von damals 7 US-Dollar auf aktuell etwa 130 US-Dollar pro Pfund (Britisch Pound lb) gestiegen. Dies entspricht fast dem Faktor 20. Oft wird argumentiert, dass dies praktisch keine Auswirkungen auf die Herstellkosten für Strom aus Kernkraftwerken hat. Wir wollten das genauer wissen und haben nachgerechnet.

Die folgende Tabelle zeigt den Zusammenhang, wie stark sich die Uranpreise auf die Stromkosten im Kraftwerk auswirken. Hierbei ist nur der Anteil des Uranpreises an den Stromherstellungskosten berücksichtigt, weitere Kostenfaktoren (Bau-, Wartungs- und Betriebskosten des Kraftwerkes) sind hier noch nicht berücksichtigt. Die Stromerzeuger selbst geben Gesamtkosten von etwa 3 -4 Euro-Cent pro kWh_{el} an. Die Zahlen der Tabelle geben also nur den reinen Kostenaufschlag auf die tatsächlichen Produktionskosten wieder.

Uranpreis [\$/lb U ₃ O ₈]	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Beitrag Strom- erzeugungskosten [Eurocent/kWh]	0,24	0,49	0,98	1,47	1,95	2,45	2,93	3,42	3,90	4,40	4,88

Tabelle: Einfluss des Uranpreises auf die Stromerzeugung in Kernkraftwerk
(Durchschnittswerte)

Der heutige Uranpreis von 130 \$/Pfund schlägt sich also mit einem Anteil von 0,5 Euro-cent je kWh in den Stromkosten nieder. Sollte der Uranpreis auf 500 US-Dollar je Pfund Uranoxid ansteigen, so beträgt der Aufschlag bereits 2,5 Euro-Cent pro Kilowattstunde, womit die Stromkosten um 50 – 70 Prozent ansteigen würden und damit spürbar erhöht würden. Kritiker sehen die volkswirtschaftlichen Stromgestehungskosten für Kernenergie allerdings deutlich höher als bei den oben zitierten 3-4 Euro-cent je kWh.

Wer glaubt, dass derart hohe Uranpreise der Fantasie entspringen, der möge sich nochmals den rasanten Preisanstieg der vergangenen Jahre ins Gedächtnis rufen. Hierbei sollte man bedenken, dass etwa ein Drittel des benötigten Urans aus Lagerbeständen stammen. Diese werden in den kommenden Jahren aufgebraucht sein. Wenn es nicht gelingt, innerhalb der kommenden 5-10 Jahre die weltweite

Uranförderung um mindestens 50% auszuweiten, so wird eine Uranverknappung unvermeidbar.

Aber selbst wenn diese Ausweitung gelingt, so würden die heute bekannten Uranreserven bei konstanter Förderung nur für etwa 30 Jahre, inklusive der bekannten Ressourcen für etwa 70 Jahre reichen. Eine detaillierte Analyse dieser Zahlen findet sich in der Studie "Uranresources" von der Energy Watch Group. Wenn als langfristig potentieller Ausweg aus der sich abzeichnenden Uranverknappung die Urangewinnung aus Meerwasser diskutiert wird, so würden, abgesehen von deren technologischer Machbarkeit sehr schnell Kosten von mehreren hundert Dollar pro Pfund Uranoxid zu erwarten sein.

Tatsächlich ist die weltweite Uranförderung im Jahr 2006 jedoch gesunken. In Australien fiel der Uranerzabbau gegenüber 2005 um 20%, in Kanada um 15%. Beide Staaten zusammen haben einen Anteil an der Weltförderung von 44%. Dieser Förderrückgang konnte nicht vollständig durch die Förderausweitung anderer Staaten ausgeglichen werden, so dass die weltweite Förderung um 5% zurückging. Eine detaillierte Auflistung findet sich in der folgenden Tabelle

Uranförderung [Tonnen Uran]

Land	2002	2003	2004	2005	2006
Kanada	11604	10457	11597	11628	9862
Australien	6854	7572	8982	9516	7593
Kasachstan	2800	3300	3719	4357	5279
Niger	3075	3143	3282	3093	3434
Russland(est)	2900	3150	3200	3431	3400
Namibia	2333	2036	3038	3147	3077
Usbekistan	1860	1598	2016	2300	2270
USA	919	779	878	1039	1692
Ukraine (est)	800	800	800	800	800
China (est)	730	750	750	750	750
Südafrika	824	758	755	674	534
Tschech. Repub.	465	452	412	408	359
Indien (est)	230	230	230	230	230
Brasilien	270	310	300	110	190
Rumänien (est)	90	90	90	90	90
Deutschland	212	150	150	77	50
Pakistan (est)	38	45	45	45	45
Frankreich	20	0	7	7	0
Welt	36 063	35 613	40 251	41 702	39 655
in Tonnen U ₃ O ₈	42 529	41 998	47 468	49 179	46 765

Quelle: WNA Market Report data (siehe z.B. <http://www.uic.com.au/nip41.htm>)

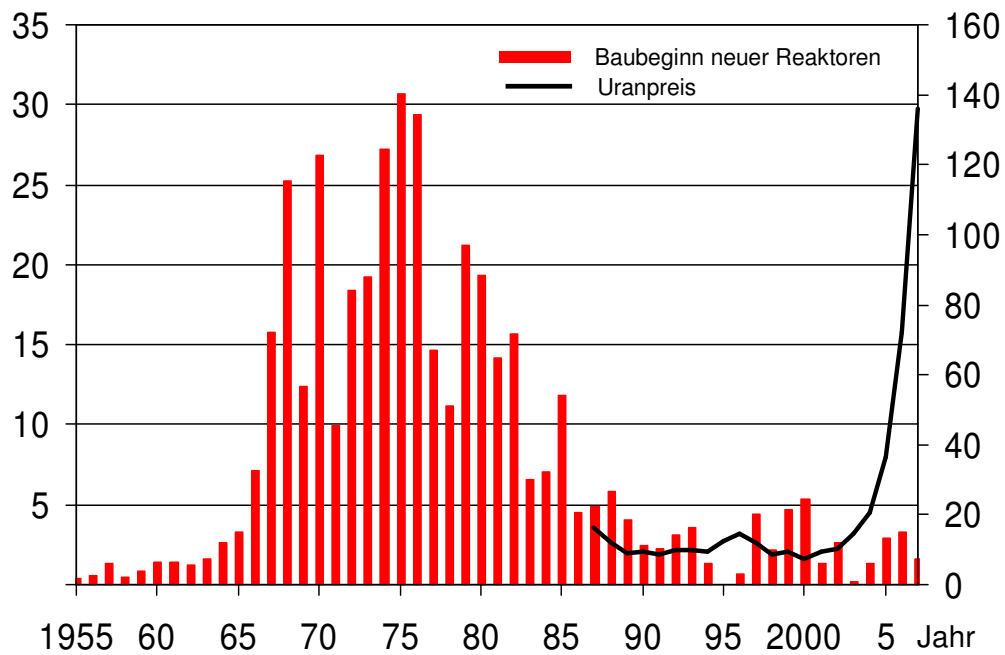
Die Lagerbestände gehen zur Neige. Nur etwa 65 Prozent des benötigten Urans werden bergmännisch gewonnen. Die fehlenden 35 Prozent stammen aus Lagerbeständen, die insbesondere aus dem Abbau von russischem Kernwaffenmaterial aus der Zeit vor 1990 angesammelt wurden. Die Lieferverträge zwischen den USA und Russland laufen im Jahr 2013 aus. Und Russland hat bereits angekündigt, diese Verträge nicht über das Jahr 2013 hinaus zu verlängern. (Siehe z.B. <http://www.usec.com/>).

Um den bestehenden Bedarf zu decken, müsste die weltweite Förderkapazität also innerhalb weniger Jahre um etwa 50 Prozent ausgeweitet werden. Das aber gestaltet sich zunehmend schwieriger, da die günstigsten Vorkommen zur Neige gehen und vor allem Minen mit schlechterem Erzgehalt erschlossen werden müssen. Die Erschließung neuer Lagerstätten verzögert sich aufgrund unvorhergesehener Probleme und erweisen sich teurer als anfänglich kalkuliert. Hier ist insbesondere das größte und einzige Projekt mit guter Erzqualität, Cigar Lake in Kanada hervorzuheben. Ursprünglich sollte die Mine im Jahr 2007 mit dem Erzabbau beginnen, doch mehrere Wassereinträge führten im Oktober 2006 zur vollständigen Überflutung. Heute hofft der Betreiber, dass Ende 2010 mit dem Erzabbau begonnen werden kann. Manche Beobachter halten es für möglich, dass das Projekt vollständig aufgegeben werden muss.

Dass die Uranpreisentwicklung nicht auf dem Zubau neuer Atomkraftwerke, sondern lediglich auf die schon ohne eine „Renaissance“ der Kernenergie stattfindende Verknappung des Brennstoffes zurückzuführen ist, zeigen die folgenden beiden Diagramme. Die erste vergleicht den Baubeginn neuer Kernreaktoren weltweit mit dem steigenden Uranpreis der letzten Jahre. In der ersten Jahreshälfte 2007 wurden keineswegs mehr Neubauten begonnen als im Mittel der vergangenen 20 Jahre. Da die Bauzeit mindestens 5 Jahre beträgt, können wir mit großer Wahrscheinlichkeit darauf schließen, dass dies nicht einmal ausreichen wird, um die weltweite Reaktorkapazität konstant zu halten. Damit wird der Uranbedarf bis 2012 etwa konstant bleiben, so dass keine großen Auswirkungen auf den Uranpreis zu erwarten sein sollten.

[GW/Jahr] Neubau von Kernreaktoren

Uranpreis [US-\$/lb U₃O₈]



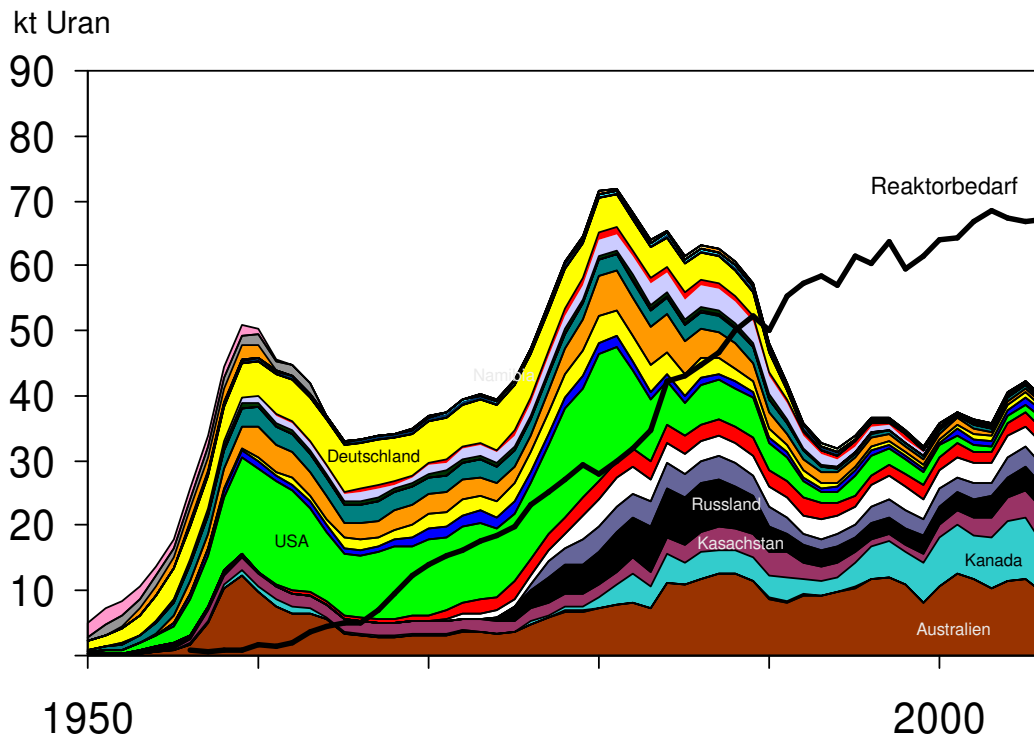
Datenquelle: Reaktoren: International Atomic Energy Agency, Daten für 2007 bis einschließlich 25 Juni, www.iaea.org;
Uranpreis: The Ux Consulting Company, LLC, Jeweils zum Jahresende bzw für 2007 zum 25 Juni 2007; www.uxc.com

Bild 1:

Baubeginn neuer Kernreaktoren und Entwicklung des Uranpreises (Datenbasis: Uranpreis: The Ux Consulting Company, LLC (www.uxc.com); Baubeginn der Kernreaktoren IAEA Juni 2007 (www.iaea.org); Grafik: Energywatchgroup

Das zweite Bild zeigt die weltweite Uranförderung bis einschließlich 2006 und den weltweiten Uranbedarf. Die Versorgungslücke, die durch Lagerbestände ausgeglichen werden muß wird keineswegs kleiner. Im Jahr 2013 wird aber ein großer Teil der Vorräte nicht mehr verfügbar sein. Wenn bis dahin neue Minen nicht zusätzliches Uran auf den Markt bringen können, werden vermutlich ab 2013 die ersten Reaktoren aus Brennstoffmangel abgeschaltet werden müssen. Genau diese Angst sorgt für Nervosität an den Märkten und führt im Gefolge zu den sprunghaft steigenden Preisen.

Weltweite Uranförderung und Bedarf der Kernreaktoren



Datenquelle: NEA 2006, Für 2006 Daten von <http://www.uic.com.au/nip41.htm>
 Grafik und Analyse: LBST Juni 2007

Bild 2:
 Uranförderung der einzelnen Länder von 1950 – 2006 sowie Uranbedarf der Kernreaktoren.

Berechnung

Energieerzeugung durch Kernkraftwerke (2004): 2.638 TWh
 Uranbedarf dieser Kernkraftwerke: 67.320 Tonnen

Daraus ergibt sich, dass für die Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie im Durchschnitt 0,0255g Uran benötigt werden. Der Uranpreis wird in US-Dollar pro lb Uranoxid angegeben.

(1 kg Uranoxid enthält 0,848 kg Uran; 1 lb = 0,454 kg)

Daraus ergibt sich, dass der Uranpreis von 1 US-Dollar/lb Uranoxid einem Preis von 2,6 US-Dollar/kg Uran entspricht. Dieser Wert muss dann noch in Euro umgerechnet werden, angesetzt wurden 0,737 Euro pro Dollar.

Die Berechnung im Detail

1. Weltweite Stromerzeugung und Uranbedarf der Kernkraftwerke im Jahr 2004:
Energieerzeugung durch Kernkraftwerke: 2.638 TWh
Uranbedarf Kernkraftwerke: 67.320 tU
Quelle: Uranium 2005: Resources, Production and Demand (Red Book),
IAEA/OECD, 2005

$$\rightarrow \text{spez. Uranbedarf je kWh} = 67.320 \text{ tU} / 2.639 \text{ TWh} = \\ 67,32 \text{ gU} / 2.639 \text{ kWh} = 0,0255 \text{ gU/kWh}$$

Für die Erzeugung einer kWh Strom werden im Durchschnitt also 0,0255 g Uran benötigt.

2. Umrechnung des spezifischen Uranpreises von \$/lb U_3O_8 auf \$/kgU
Der Uranpreis wird meist in \$/lb U_3O_8 angegeben. Diese Angabe wird im folgenden auf \$/kg Uran umgerechnet.

1 kg Uranoxid (U_3O_8) enthält 0,848 kg Uran (U).

[Rechengang: $1 \text{ kg } \text{U}_3\text{O}_8 = 3 \cdot 238 / (3 \cdot 238 + 8 \cdot 16) \text{ kg U} = 0,848 \text{ kg U}$]

$$1 \text{ lb} = 453,6 \text{ g} = 0,454 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 1 \text{ \$/lb } \text{U}_3\text{O}_8 = 1 \text{ \$/}0,454 \text{ kg } \text{U}_3\text{O}_8 = 1 \text{ \$/}0,454 / 0,848 \text{ kg U} = 2,60 \text{ \$/kg U}$$

Der Uranpreis von 1 \$/lb U_3O_8 entspricht einem Preis von 2,6 \$/kg Uran.

3. Umrechnung von Dollar auf Euro:

Der Wechselkurs vom 25 April 2007 lautet $1 \text{ \$} = 0,7365 \text{ €}$
(Quelle: www.google.de)

4. Beispiele

Die folgende Tabelle zeigt den Einfluss des Uranpreises auf die Stromerzeugungskosten. Zur Berechnung wurden die Daten unter 1., 2. und 3. verwendet.

Uranpreis [\$/lb U ₃ O ₈]	Uranpreis [\$/kg U]	spez. Uranbedarf [gU/kWh]	Beitrag zu den Stromerzeugungs- kosten [US-Cents/kWh]	Wechselkurs [\$/€] (25.4.07)	Beitrag zu den Stromerzeugungs- kosten [Euro-Cents/kWh]
50	130	0,0255	0,33	0,7365	0,24
100	260	0,0255	0,66	0,7365	0,49
200	520	0,0255	1,33	0,7365	0,98
300	780	0,0255	1,99	0,7365	1,47
400	1040	0,0255	2,65	0,7365	1,95
500	1300	0,0255	3,32	0,7365	2,45
600	1560	0,0255	3,98	0,7365	2,93
700	1820	0,0255	4,64	0,7365	3,42
800	2080	0,0255	5,30	0,7365	3,90
900	2340	0,0255	5,97	0,7365	4,40
1000	2600	0,0255	6,63	0,7365	4,88

Am 23. April 2007 betrug der Uranpreis 113 \$/lb U₃O₈. Dies ergibt einen Beitrag zu den Stromerzeugungskosten von 0,55 Euro-Cents.

Quelle für den Uranpreis: http://www.uxc.com/review/uxc_Prices.aspx

Allgemein lautet die Formel zur Umrechnung des Uranpreises von \$/lb U₃O₈ in Euro-Cents/kWh:

$$x \text{ * } \$/\text{lb U}_3\text{O}_8 = 0,00663 \text{ * } x \text{ * } \text{pc} \text{ * } \text{Euro-Cents/kWh}$$

mit

x = Uranpreis in \$/lb U₃O₈

pc = Wechselkurs \$->€ (derzeit 0,7365)