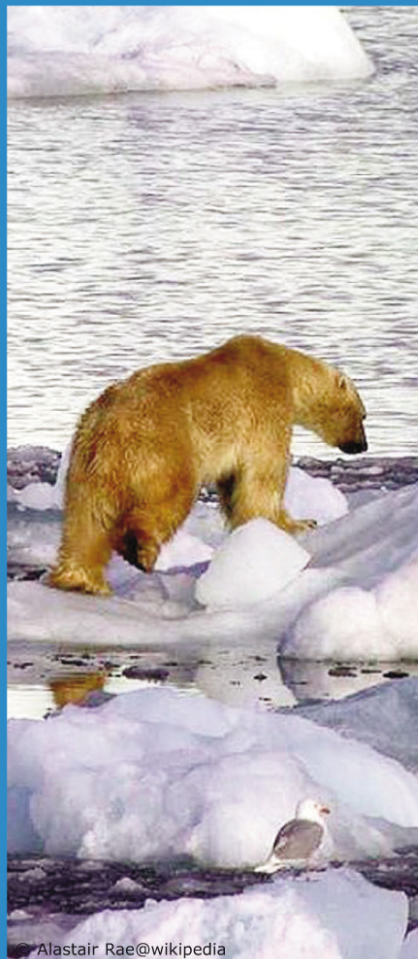
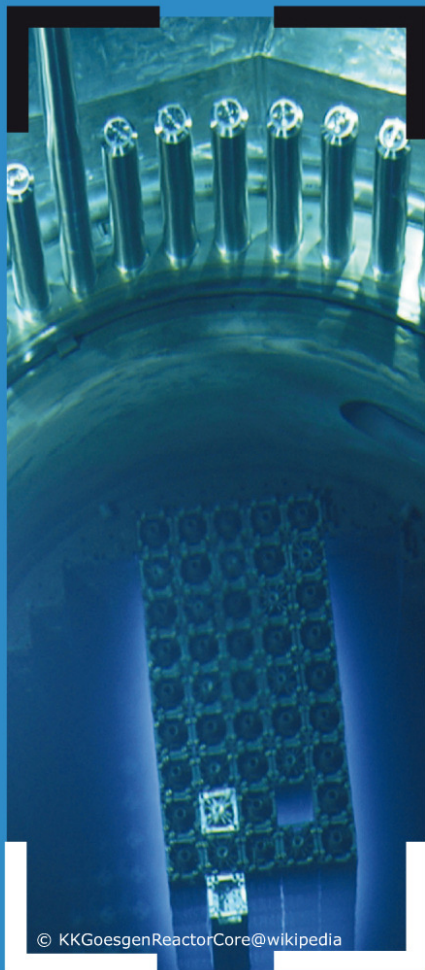


# Energiebilanz der Nuklearindustrie



Analyse von Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Nuklearindustrie über den Lebenszyklus

**Zusammenfassung**

## Impressum

---

### **AutorInnen**

#### ***Österreichisches Ökologie-Institut:***

Mag.<sup>a</sup> Andrea Wallner (Gesamtleitung)

Ing.<sup>in</sup> Antonia Wenisch

#### ***Austrian Energy Agency:***

Dr. Martin Baumann (Modellierung)

Dr. Stephan Renner

**Layout Titelblatt:** Ulli Weber

**Lektorat:** Dr. Margaretha Bannert

**Programmsteuerung:** Klima- und Energiefonds

**Programmabwicklung:** Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Wien 2011

Das der Studie zu Grunde liegende Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen der 2. Ausschreibung des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ als Grundlagenforschung durchgeführt.

Originaltitel des Forschungsprojektes (Forschungsantrag): LCA-Nuklearindustrie – Energiebilanz der Nuklearindustrie über den Lebenszyklus – ein Argumentarium zur Entwicklung der Kernenergie.

Das Projekt wurde durch eine Zusatzförderung der Wiener Umweltschutzbehörde um das Thema Uranressourcen erweitert.

# Zusammenfassung

## Hintergrund

Der Unfall im japanischen Kraftwerk Fukushima im März 2011 löste eine Debatte über den Ausstieg aus der Kernenergie und die Sicherheit von Kraftwerken aus. Verschiedene Staaten planen ein Ende des Einsatzes der Kernenergie. Gleichzeitig neigt sich die Nutzungsdauer vieler Kernkraftwerke ihrem Ende zu. Regierungen und Kraftwerksbetreiber stehen deshalb vor der Frage, ob sie alte Kernkraftwerke (KKW) durch neue Reaktoren ersetzen oder andere Energiequellen nützen sollen. Insbesondere aus den Anforderungen zur Reduktion von Treibhausgasen (THG) wird die Notwendigkeit eines verstärkten Einsatzes der Kernenergie abgeleitet.

Eine Bewertung des Beitrages der Kernenergie für den Klimaschutz verlangt die Betrachtung des gesamten **Lebenszyklus**. In den einzelnen Prozessschritten ist zum Teil ein mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbundener Energieaufwand nötig. Während bei fossilen Technologien die dem Betrieb vor- und nachgelagerten Treibhausgasemissionen ca. 25 % der direkten Emissionen ausmachen können, sind es bei der Kernenergie bis über 90 % (Weisser 2007). Der Ressourcen- und Energiebedarf muss daher über die gesamte nukleare Brennstoffkette berücksichtigt werden, vom Uranabbau, über die Anreicherung des Brennstoffes bis hin zur Dekommissionierung des Kraftwerkes und zur Endlagerung der Brennstoffe. Abbildung 1 zeigt in einem stark vereinfachten Schema die Hauptprozessschritte der nuklearen Brennstoffkette.

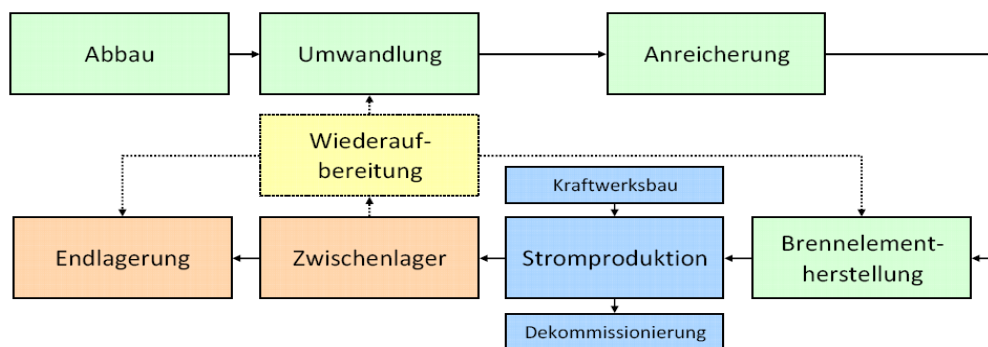


Abbildung 1: Hauptprozessschritte der nuklearen Brennstoffkette

## Zielsetzung der Studie

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, Informationen über die Energiebilanz der Stromproduktion aus Nuklearenergie über den Lebenszyklus zu gewinnen.

Folgende Kernfragen sollen geklärt werden:

- Wie wirkt sich das prognostizierte Sinken des Erzgehaltes von Uranvorkommen auf Energieintensität und Treibhausgasemissionen aus und ab welchem Erzgehalt wird kein Energieüberschuss mehr produziert?
- In welchem Bereich liegen die aus Nuklearenergie resultierenden Energieüberschüsse und Treibhausgase?
- Welche Faktoren einschließlich des Erzgehaltes haben den größten Einfluss auf den Energieüberschuss?

## Analyse der vorhandenen Literatur

In der Literatur wird ein Zusammenhang zwischen Erzgehalt und Energieintensität hergestellt. Die Energieintensität ist der Energieaufwand über die gesamte nukleare Brennstoffkette, der für die Erzeugung einer kWh<sub>el</sub> nötig ist (Energieinput/Energieoutput). Ab einem bestimmten Uranerzgehalt (Grenzerzgehalt) steigt die Energieintensität von Kernkraftwerken auf über 100 %. In diesem Fall wird die Energiebilanz negativ, es wird also kein Energieüberschuss mehr produziert und der Betrieb eines Kernkraftwerks mit solchem Brennstoff ist aus energetischer Sicht nicht mehr sinnvoll.

Die **Bandbreite der Energieintensität** der betrachteten Studien (Abbildung 2) bewegt sich bei mittleren Erzgehalten (Erzgehalt von 0,15 % bis 0,26 %) zwischen 2 % und 50 %. Die aktuelle Studie von ISA (2006) ermittelt bei der Energieintensität eine Bandbreite von 10 % bis 30 %, mit einem Mittelwert von 18 %.

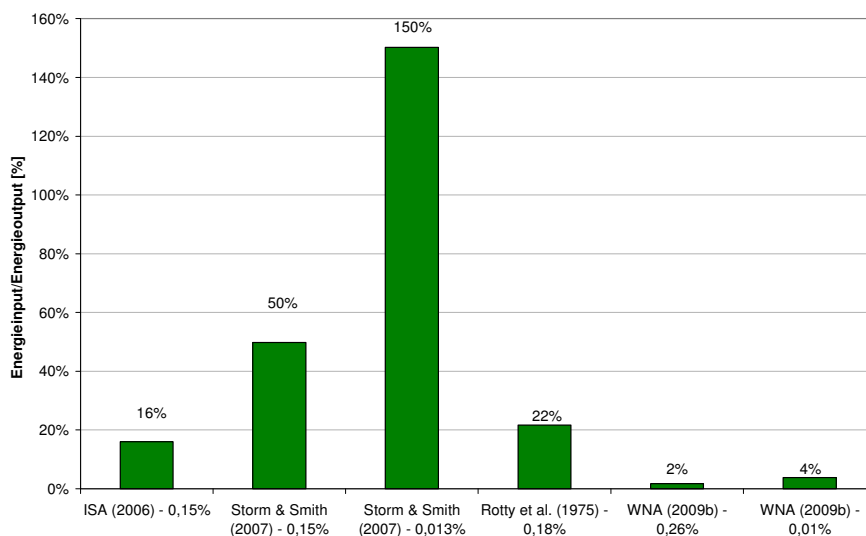


Abbildung 2: Energieintensität der nuklearen Brennstoffkette – Vergleich der Gesamtergebnisse verschiedener Studien unter Berücksichtigung des Uranerzgehaltes

Trotz der hohen Bandbreite der Endergebnisse ist sich die Literatur über die zentrale Bedeutung des **Erzgehaltes** für die Energiebilanz einig: Bei einem niedrigen Erzgehalt von ca. 0,01 % wird die Erzaufbereitung des Urans zum Prozessschritt mit dem höchsten Energieaufwand (über 40 % des gesamten Energieaufwandes). Die Energieintensität weist in der Literatur allerdings eine sehr hohe Bandbreite auf (4–150 %): Die Ergebnisse reichen also von einem hohen Energieüberschuss bis zu einer negativen Energiebilanz.

Eine der wenigen Studien, die die Änderung des Erzgehalts der Uranvorkommen mit einbezieht, ist die Studie Storm van Leeuwen und Smith (2007; 2008). Ab einem Grenzerzgehalt von 0,013 % wird laut den Berechnungen von Storm/Smith die Energiebilanz negativ. Dieser Erzgehalt wird bei gleichbleibender installierter nuklearer Kapazität im Jahr 2078 und bei einer jährlichen Kapazitätssteigerung von 2 % schon im Jahr 2059 erreicht sein.

Die Prozessschritte vor und nach dem Kraftwerk verursachen **Treibhausgasemissionen**. Die Angaben über die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kernenergie schwanken in der Literatur zwischen 2 und 288 g/kWh<sub>el</sub>. Der höchste Wert von 288 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> ist auf einen sehr niedrigen Erzgehalt von 0,013 % bezogen (Storm/Smith 2007). ISA (2006) kommt auf Werte von durchschnittlich ca. 60 g CO<sub>2</sub>/kWh. Abbildung 3 zeigt einen Vergleich verschiedener Literaturergebnisse von CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kernenergie laut Sovacool (2008).

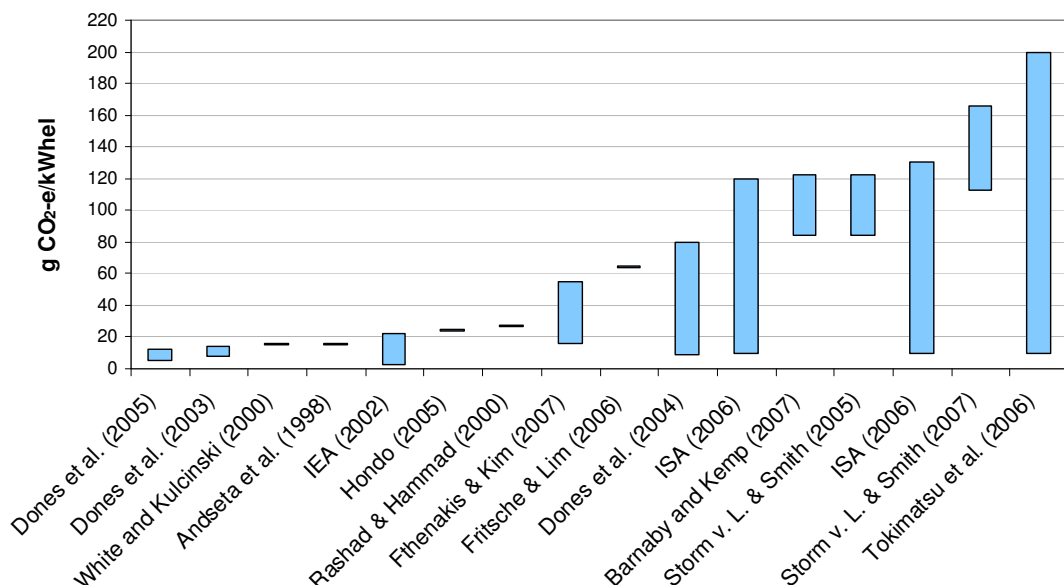


Abbildung 3: Treibhausgasintensität der nuklearen Brennstoffkette – Vergleich der Bandbreiten verschiedener Studien (Min – Max) nach Sovacool (2008)

## Ziel und Methodik der Energiebilanz Nuklear (EBN-Modell)

Da die in der Literatur vorgefundenen Daten nicht den Detaillierungsgrad aufweisen, der zur Beantwortung der Forschungsfragen nötig ist, wurde der Großteil der nuklearen Prozesskette mit eigenen **Bottom-up-Berechnungen** modelliert. In einem Modell (**Energiebilanz Nuklear, EBN**) wird der über die nukleare Brennstoffkette nötige Energieinput dem Energieoutput des Kernkraftwerks gegenübergestellt. Dabei wird sowohl die direkte Energie, also die eingesetzte elektrische und thermische Energie, als auch die indirekte Energie, die in Materialien steckt, in die Berechnungen miteinbezogen. Energie, die zum Bau und zur Dekommissionierung (Abbau) von Anlagen benötigt wird, die in der Prozesskette zum Einsatz kommen, wurde ebenfalls, soweit möglich, in die Berechnungen aufgenommen. Ein Großteil der nuklearen Prozesskette wurde dadurch modelliert, der Rest der Daten wurde aus der Literatur bezogen. Die Eingangsdaten wurden aus Fachliteratur, weitere Daten aus anderen Bergbauarten sowie ExpertInnenbefragungen ermittelt.

Der Fokus der Berechnungen liegt auf dem **Uranabbau**. Sowohl der voraussichtlich sinkende Erzgehalt als auch die Uranförderung aus unterschiedlichen Abbautiefen und Minenarten werden berücksichtigt.

Allerdings ist zu beachten, dass die Bottom-up-Methode nicht alle Prozessschritte erfassen kann, die einen Energieverbrauch verursachen, und die Ergebnisse des Modells daher **Mindestwerte** darstellen, die im tatsächlichen Lebenszyklus einer kWh Strom aus Uran tendenziell höher sein werden.

Mit Hilfe des EBN-Modells wurden Aussagen gewonnen zu folgenden Fragen:

- Plausible Bandbreite für Energieintensität und Treibhausgasemissionen der nuklearen Brennstoffkette
- Sensitivität der Ergebnisse auf verschiedene Eingangsparameter
- Grenzerzgehalt
- Zeitliche Reichweite der Uranressourcen
- Plausibilität der Ergebnisse anderer Studien

## Ergebnisse des EBN-Modells

Um zu einer plausiblen Bandbreite an Ergebnissen zu kommen, wurden die Ergebnisse im EBN-Modell für verschiedene Szenarien berechnet: Die angenommenen Szenarien unterscheiden sich in Anteilen der Minentypen (Übertagbau, Untertagbau, In Situ Leaching) bzw. Anreicherungstechnologien sowie Transportdistanzen und Reaktorparametern. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse im Vergleich zur Bandbreite der untersuchten Literatur.

Tabelle 1: Bandbreite der Hauptergebnisse im Vergleich zur Literatur

	<b>Energieintensität [%]</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen [g/kWh]</b>
<b>Ergebnisse des EBN-Modells:</b>		
Szenarien mit Erzgehalt 0,1–2 %	2–4	14–26
Szenarien mit Erzgehalt 0,01–0,02 %	14–54	82–210
Grenzerzgehalt von 0,0086 % im Szenario „Average“	100	563
Alle Szenarien	2–54	14–210
<b>Bandbreite der untersuchten Literatur</b>	1,7 <sup>1</sup> –108	2–288 <sup>2</sup>

In Szenarien mit Erzgehalten von 0,1 bis 2 % liegt der Energieaufwand für die Erzeugung einer kWh<sub>el</sub> bei 2 bis 4 %. Bei sinkendem Erzgehalt (0,01 % und 0,02 %) steigt dieser Energieaufwand auf 14–54 %. Daraus entstehen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Höhe von 82–210 g/kWh. Der Erzgehalt wird zum entscheidenden Einflussfaktor.

Ab einem bestimmten Erzgehalt (**Grenzerzgehalt**) wird der Energieaufwand für den Uranabbau so groß, dass die Gesamtenergiebilanz negativ wird. Abbildung 4 stellt den Grenzerzgehalt für das Szenario „Average“ dar: Bei einem Erzgehalt von ca. 0,02 % abwärts steigt der nötige Energieaufwand im Verhältnis zum Output stark an, bis er ihn schließlich bei unter 0,008 bis 0,012 % übertrifft. Ab diesem Erzgehalt erzeugt der Betrieb von Kernkraftwerken keinen Energieüberschuss mehr. Bei niedrigen Erzgehalten reagieren die Ergebnisse außerdem stark sensitiv auf Änderungen in der Abbautiefe und der Extraktionseffizienz.

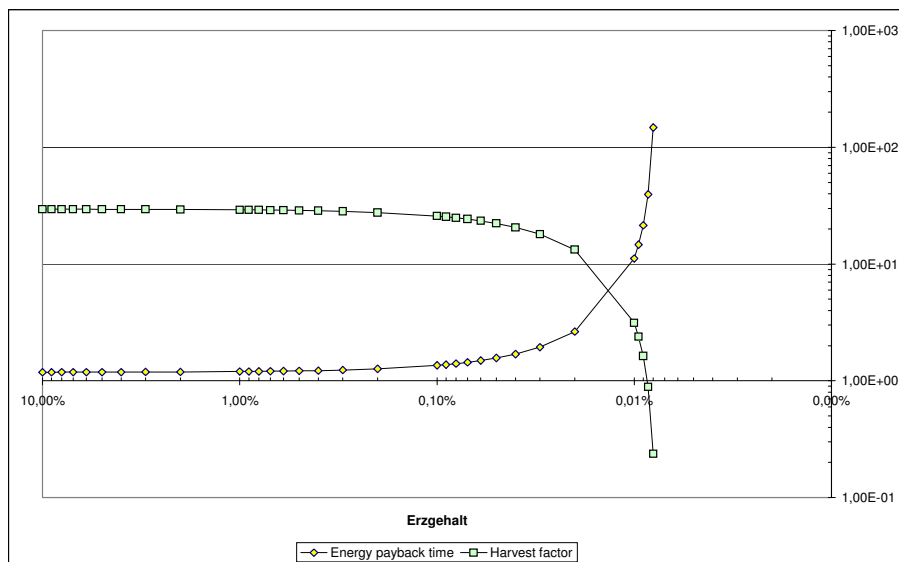


Abbildung 4: Energieüberschuss in Abhängigkeit vom Erzgehalt

Diese starke Abhängigkeit des Energieüberschusses vom Erzgehalt des eingesetzten Urans ist von besonderer Relevanz, da der Trend der letzten fünf Jahrzehnte ein kontinuierliches

<sup>1</sup> WNA (2009) bei einem Erzgehalt von 0,26

<sup>2</sup> Storm/Smith (2008) bei einem Erzgehalt von 0,013

Sinken des Erzgehaltes zeigt und laut Prognosen der Erzgehalt in Zukunft weiter sinken wird. Gegenwärtig weist ein Drittel der angenommenen Uranressourcen nach Angaben der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) einen Erzgehalt unter 0,03 % auf. Der weltweit durchschnittliche Erzgehalt lag in den letzten fünf Jahrzehnten zwischen 0,05 und 0,15 % (Mudd/Diesendorf 2007b; ISA 2006, S. 96). Der Großteil der globalen Uranvorkommen ist in schwer erschließbaren, so genannten unkonventionellen Ressourcen zu finden. CO<sub>2</sub>-Emissionen, Wasser- und Energiebedarf sowie Kosten des Uranabbaus dürften in der Zukunft also steigen.

In diesem Zusammenhang ist eine weitere entscheidende Frage, wie groß die zeitliche **Reichweite** der Uranressourcen ist. Dazu wurden verschiedene Szenarien über die Entwicklung der KKW-Kapazität definiert (konstante global installierte Reaktorleistung, Anstieg der Kapazität mit 1 % pro Jahr, Ausbau der Kapazität gemäß Annahmen der World Nuclear Association) und den Angaben der IAEA über Uranressourcen verschiedener Erzgehalt-Kategorien gegenübergestellt.

Unter Annahme des niedrigen Wachstumsszenarios der World Nuclear Association (WNA) (mit einer installierten Kraftwerksleistung von 961 GW im Jahr 2050) und Angaben zu Uranressourcen der IAEA liegt die Reichweite der derzeit in Betrieb befindlichen Uranminen im Jahr 2055. Werden auch jene Minen berücksichtigt, die gegenwärtig erst in Entwicklung sind, so reichen die Uranreserven im niedrigen Wachstumsszenario der WNA ca. bis zum Jahr 2075.

Unter Annahme eines lediglich 1%igen Wachstums der nuklearen Kapazität wäre die Reichweite der derzeit in Betrieb befindlichen Uranminen im Szenario „Best Case“ auf den Zeitraum 2052–2065 beschränkt. Bleiben die weltweiten KKW-Kapazitäten konstant, so ist ab dem Jahr 2066 damit zu rechnen, dass die derzeit in Betrieb befindlichen Uranminen ausgeschöpft sind.

Ein Drittel der derzeit in Betrieb befindlichen Uranminen weist einen Erzgehalt unter 0,03 % auf und beinhaltet dadurch auch Uranerz unter dem Grenzerzgehalt. Die energetisch nutzbare Reichweite der Uranressourcen dürfte also noch bedeutend kürzer sein. Werte aus der Literatur bestätigen die relativ kurze Reichweite der Uranressourcen und gehen teilweise sogar von noch niedrigeren Reichweiten aus.

Um auf drohende Versorgungsengpässe zu reagieren, werden **Generation-IV-Reaktoren** entwickelt, die ihren Brennstoff teilweise selbst erbrüten. Die Entwicklung dieser Reaktoren befindet sich allerdings noch in einem frühen Stadium, ist kostenintensiv und mit ungelösten Problemen behaftet, wie etwa Sicherheitsproblemen bei schnellen Brütern und Thoriumreaktoren sowie hohen Kosten für die Entwicklung und den Bau.



## Schlussfolgerungen

Bei neu gebauten Kernkraftwerken wird eine Betriebsdauer von 60 Jahren und eine Vorlaufzeit zwischen Planung und Betrieb einer Anlage von 10 bis 19 Jahren angenommen. Kernkraftwerke, die jetzt geplant werden, würden also im Zeitraum 2080–2090 ans Ende ihrer erwartbaren Nutzungsdauer kommen, jene, die jetzt in Betrieb gehen, im Jahr 2070. Wenn vom niedrigen Wachstumsszenario der WNA ausgegangen wird, würden die derzeit in Betrieb befindlichen bekannten Uranabbaustätten zwischen den Jahren 2043 und 2055 erschöpft sein. Ein Kraftwerk, das jetzt gebaut wird, könnte unter Annahme dieses Szenarios nicht bis zum Ende seiner Nutzungsdauer mit Uran versorgt werden.

Der **Beitrag der Kernkraft für den Klimaschutz** wird unter dem Aspekt der sinkenden Erzgehalte relativiert: Zwar kann die Kernenergie bei hohen Erzgehalten (0,1 bis 2 %) als „low-carbon“ bezeichnet werden. Bei Erzgehalten um 0,01 % steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen allerdings bis auf 210 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> an. Die Emissionen liegen zwar immer noch unter jenen von Kohle oder Öl (600–1200 g/kWh<sub>el</sub>), aber deutlich über jenen von Wind (2,8–7,4 g/kWh<sub>el</sub>), Wasserkraft (17–22 g/kWh<sub>el</sub>) und Photovoltaik (19–59 g/kWh<sub>el</sub>). Darüber hinaus ist der Einsatz von Kernenergie als Mittel zur Verringerung von Treibhausgasen teuer und langsam. Es dauert Jahrzehnte, bis eine Netto-Reduktion der THG eingetreten ist (Pasztor 1991; Findlay 2010). Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von Kernenergie sind höher als die jeder anderen möglichen Technologie mit Ausnahme traditioneller Kohlekraftwerke. Windkraftanlagen und KWK-Anlagen sind 1,5 mal so kosteneffektiv bei der Reduktion von CO<sub>2</sub> wie Kernenergie, Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz bis zu 10 mal so kosteneffektiv.

Zusätzlich sind noch weitere Probleme der Kernkraft ungelöst:

- Die Gefahr von **Unfällen** mit großer radioaktiver Freisetzung ist auch für die technisch am weitesten entwickelten bzw. derzeit in Entwicklung befindlichen Reaktorkonstruktionen nicht auszuschließen.
- Die **Haftungsfrage** bei Unfällen ist offen. Kernkraftwerke genießen weltweit einzigartige gesetzliche Befreiungen von der Haftung für katastrophale Unfälle.
- Eine **gesundheitliche Gefährdung** durch die Strahlung nuklearer Anlagen kann nicht ausgeschlossen werden. In Deutschland konnte eine Studie des Deutschen Kinderkrebsregisters bei Kindern erhöhte Leukämieraten in der Umgebung von Kernkraftwerken nachweisen (Kaatsch et al. 2007).
- Während die Reichweite der bekannten Uranressourcen auf dieses Jahrhundert begrenzt ist, muss der hochradioaktive Abfall über tausende Jahre sicher gelagert werden. Ein **Lagerkonzept** für 245.000 Tonnen an weltweit bislang angefallenen abgebrannten Brennelementen aus der Kernenergieproduktion liegt noch nicht vor.
- Die kommerzielle Kernkraft ist die größte treibende Kraft hinter der Verbreitung spaltfähigen Materials (**Proliferation**). Ohne die kommerzielle Kernkraft könnten Proliferationsversuche eindeutig identifiziert werden, weil jeder Versuch, spaltbares Material anzuschaffen, nur militärischen Zwecken dienen würde.

- **Kernenergie führt zu höheren Strompreisen**, denn direkte und indirekte Subventionen verdecken die enormen Kosten der Kernenergie. Weltweit gibt es keinen einzigen Reaktor, bei dessen Bau das finanzielle Risiko einzig von privaten AkteurInnen getragen wurde. Wenn die Kernenergie in einem liberalisierten Markt tatsächlich zu niedrigen Strompreisen führte, gäbe es keine Probleme, neue Reaktoren privat zu finanzieren.

Die Kernenergie gilt aufgrund der damit verbundenen Gefahren als Hochrisiko-Energietechnologie. In Bezug auf die Klimaschutzthematik wird dieser Energieerzeugungsfarm allerdings auch das Prädikat „CO<sub>2</sub>-arm“ zugeordnet.

Während Kernenergie bei hohen Erzgehalten des benötigten Rohstoffs Uran durchaus niedrigere Treibhausgasemissionen als Kohle und Öl aufweist, ist die Reichweite der hochwertigen Uranvorkommen beschränkt und Uran als Rohstoff generell – wie fossile Rohstoffe – endlich. Da von einem in der Zukunft sinkenden Erzgehalt der verfügbaren Vorkommen auszugehen ist, können die **CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kernenergie** auf bis zu **210 CO<sub>2</sub>/kWh<sub>eI</sub>** ansteigen.

## Literatur

- Andseta, S., Thompson, M. J., Jarrell, J. P., Pendergast, D. R. (1998): CANDU reactors and greenhouse gas emissions. In: Proceedings of the 19th Annual Conference, Canadian Nuclear Society, Toronto, Ontario, Canada, Oktober 1998.
- Barnaby, F., Kemp, J. (2007): *Secure Energy? Civil Nuclear Power, Security, and Global Warming*. Oxford Research Group, Oxford March 2007.
- Dones, R., Heck, T., Hirschberg, S. (2003): *Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems*. Verfügbar unter [http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Annex\\_IV\\_Dones\\_et\\_al\\_2003.pdf](http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Annex_IV_Dones_et_al_2003.pdf).
- Dones, R., Zhou, X., Tian, C. (2004): Lifecycle assessment of chinese energy chains for shandong electricity scenarios. *International Journal of Global Energy Issues* 22 (2/3), S. 199–224.
- Dones, R., Heck, T., Emmenegger, M., Jungbluth, N. (2005): Lifecycle inventories for the nuclear and natural gas energy systems, and examples of uncertainty analysis. *International Journal of Lifecycle Assessment* 10 (1), S. 10–23.
- Fritsche, U. R., Lim, S. (2006). *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life- Cycle Perspective*. Öko Institute, Darmstadt, Deutschland, Jänner 2006.
- Fthenakis, V., Kim, H. C. (2007): Greenhouse-gas emissions from solar electric- and nuclear power: a life-cycle study. *Energy Policy* 35, 2549–2557.
- Hondo, H. (2005): Lifecycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy* 30 (2005), 2042–2056.
- International Energy Agency (2002). *Environmental and Health Impacts of Electricity Generation: A Comparison of the Environmental Impacts of Hydropower with those of Other Generation Technologies*. IEA Implementing Agreement for Hydropower Technologiess and Programs, Ontario, Juni 2002.
- ISA (2006): *Life-Cycle Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Energy in Australia*. ISA - The University of Sydney.
- Kaatsch, P., Spix, C., Schmiedel, S., Schulze-Rath, R., Mergenthaler, A., Blettner, M. (2007): *Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)*. Zusammenfassung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Umweltforschungsplan des Bundesumweltministeriums (UFOPLAN) Reaktorsicherheit und Strahlenschutz.
- Mudd, Gavin, Diesendorf, Mark (2007b): *Sustainability Aspects of Uranium Mining: Towards Accurate Accounting*. Australia.
- Rashad, S.M., Hammad, F.H. (2000): Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricitygenerating systems. *Applied Energy* 65, 211–229.
- Rotty, R. M., Perry, A. M., Reister, D. B. (1975): *Net Energy from nuclear Power*. Institute for Energy Analysis. IEA-Report IEA-75-3. November 1975.

- Storm van Leeuwen, J.W., Smith, P. (2005): Nuclear power - The energy balance. Quelle: <http://www.stormsmith.nl/> Chaam, Niederlande.
- Storm van Leeuwen, J.W., Smith, P. (2007): Nuclear power - The energy balance. Quelle: <http://www.stormsmith.nl/> Chaam, Niederlande.
- Storm van Leeuwen, J.W., Smith, P. (2008): Nuclear power - The energy balance. Quelle: <http://www.stormsmith.nl/> Chaam, Niederlande.
- Weisser, D. (2007): A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. PESS/International Energy Agency. Austria.
- White, S.W., Kulcinski, G.L. (2000): Birth to death analysis of the energy payback ratio and CO<sub>2</sub> gas emission rates from coal, fission, wind, and DT-fusion electrical power plants. Fusion Engineering and Design 48 (248), 473–481.
- WNA (2009b): Energy balances and CO<sub>2</sub>-implications. World Nuclear Association. <http://www.world-nuclear.org/info/inf100.html>.



Als etablierte Forschungs- und Beratungseinrichtung ist das Österreichische Ökologie-Institut seit 1985 im Umfeld Ökologie und Nachhaltigkeit tätig. Wir arbeiten für und mit Politik und Verwaltung, Wirtschaft und Interessensvertretungen sowie den direkt Betroffenen von gesellschaftlichen Veränderungen. Unsere ExpertInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen bieten ein breites Feld an inhaltlichen und methodischen Zugängen. Damit stellen wir uns der ambitionierten Herausforderung einer Nachhaltigen Entwicklung in seiner ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimension. Im Kompetenzfeld Gesellschaft – Wissenschaft – Technologie beforschen und bewerten wir u.a. das nachhaltige Potenzial von Technologien zur Lösung globaler Fragen. Dafür untersuchen wir Chancen und Risiken von Technologien über ihren Lebenszyklus für Umwelt, Gesellschaft und Gesundheit. Seit 25 Jahren bearbeiten wir nukleare Fragen wie Auswirkungen der gesamten Brennstoffkette von Uranabbau bis Endlagerung auf Mensch und Umwelt, Sicherheit und Risiko von Atomanlagen, Auswirkung von schweren Unfällen und Fragen des Strahlenschutzes.



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

Die 1977 gegründete Österreichische Energieagentur entwickelt, fördert und implementiert Maßnahmen, die auf eine nachhaltige Energieversorgung sowie auf den effizienten Einsatz von Energie abzielen. Innovative Energietechnologien, energieeffiziente Systeme und erneuerbare Energiequellen etc. zählen zu den relevanten Themenfeldern. Die Österreichische Energieagentur trägt somit zur Formulierung und Umsetzung der Energie-, Technologie- und Forschungspolitik auf Bundes- und Landesebene bei. Darüber hinaus kooperiert sie national, international sowie auf EU-Ebene im Rahmen von Projekten mit verschiedenen Institutionen, um die nachhaltige Energieversorgung voranzutreiben. Für diese Zwecke beschäftigt die Österreichische Energieagentur ein interdisziplinär zusammengesetztes Team von etwa siebzig MitarbeiterInnen.

Diese Studie liefert Informationen über den Energieeinsatz für die Stromproduktion mittels Nuklearenergie über den Lebenszyklus. Folgende Kernfragen werden behandelt: Welche Faktoren einschließlich des Erzgehalts haben den größten Einfluss auf den Energieüberschuss? Ab welchem Erzgehalt wird kein Energieüberschuss mehr produziert? Kann eine Fokussierung auf Kernenergie zum Klimaschutz beitragen? Die einzelnen Schritte der nuklearen Brennstoffkette wurden zu einem Großteil bottom-up modelliert.