

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 98 (2007)
Heft: 8

Artikel: CO2-Emissionen im Lebenszyklus von Energietechnologien
Autor: Dones, Roberto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857438>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CO₂-Emissionen im Lebenszyklus von Energietechnologien

Jede Energietechnologie belastet die Umwelt mit Treibhausgas-Emissionen – mehr oder weniger. Um die verschiedenen Energietechnologien zu vergleichen, muss ihr ganzer Lebenszyklus konsistent analysiert werden, von der Beschaffung des Rohstoffs bis zur Stromproduktion und Entsorgung. Entsprechende Studien hat das Paul Scherrer Institut (PSI) gemacht. Das PSI weist auch darauf hin, dass Verhältnisse, wie sie in Zukunft auftreten könnten, für die Bewertung von zukünftigen Energiesystemen weiter untersucht werden sollten. Das gilt insbesondere für die abnehmende Qualität der Rohstoffe gegenüber Fortschritten bei den Abbautechnologien.

Andere Emissionswerte können unterschiedliche Bedingungen reflektieren und zu einer grösseren Bandbreite der Treibhausgas-Emissionen führen. Unter extremen Verhältnissen können die Werte auf etwa 5% derjenigen aus der Energiekette von Steinkohle klettern (ungefähr 50 bis 60 g (CO₂-eq)/kWh) und damit im Grössenbereich von modernen solaren Fotovoltaikanlagen liegen. Das ist äusserst selten der Fall unter der Annahme, dass die Urananreicherung ausschliesslich per Diffusionsprozesse mit Strombezug von Steinkohlekraftwerken geschieht, wie in der alten US-Diffusionsanlage Paducah. Noch höhere Werte resultieren aus teilweise mangelhaften, unrealistischen oder falschen Annahmen und Methodiken. Der heutige Uranabbau trägt nur gering zu den berechneten totalen Treibhausgas-Emissionen bei, doch sein Einfluss könnte steigen, wenn der Erzgehalt in konventionell abgebauten Minen künftig um Grössenordnungen abnehmen würde.

fachbeiträge

■ Roberto Dones

Seit den frühen 1990er-Jahren ermitteln PSI-Forscher konsistente und möglichst realistische Treibhausgas-Emissionen, die von fossilen, nuklearen und erneuerbaren Energietechnologien verursacht werden. Diese Abschätzungen basieren auf der ETH-Datenbank ecoinvent (www.ecoinvent.ch). Bei dieser weltweit umfangreichsten und detailliertesten Datenbank für Lebenszyklus-Analysen (LCA) lieferte das PSI zusammen mit Partnern den Beitrag für die Energiesysteme. Die Resultate wurden in bekannten und durch Experten begutachteten (peer-reviewed) Journals publiziert, so auch in der massgebenden Encyclopedia of Energy (R. Dones et al., 2004a). Die jüngsten Ergebnisse (R. Dones et al., 2004a, 2004b) für heutige Stromerzeugungssysteme in der Schweiz und den UCTE-Ländern, im Wesentlichen Westeuropa ohne UK und Skandinavien, sind in der Grafik dargestellt.

Resultate aus PSI-Studien

Für den nuklearen Kreislauf belaufen sich die abgeschätzten Treibhausgas-Emissionen auf etwa 8 Gramm CO₂-Äquivalent (berücksichtigt alle Treibhausgase) pro erzeugte Kilowattstunde. Dieser Wert (mit einem Streubereich von 5 bis 12 g) widerspiegelt die Bedingungen, wie sie für die Durchschnitts-Kernkraftwerke (Leichtwasserreaktoren, LWR) in den untersuchten Ländern mit den damit verbundenen Brennstoffkreisläufen herrschen.

Treibhausgas-Emissionen aus der nuklearen Energiekette hängen einerseits

von der Charakteristik der Kette selbst und andererseits vom dafür verwendeten Modell ab. Ein Schlüsselfaktor für die der totalen nuklearen Energiekette zugeordneten Emissionen ist, wie das Anreicherungsverfahren von Uran ausgeführt wird – d. h. wie der dazu verwendete Prozess und die dafür eingesetzte Energie ausfallen. Für die KKW's in der Schweiz und den meisten westeuropäischen Ländern wird die Urananreicherung vorwiegend mit Zentrifugen vorgenommen – einem Verfahren mit sehr tiefer Energieintensität – sowie mit dem Diffusionsprozess, der in der französischen Anlage Eurodif in Tricastin seine Energie CO₂-frei aus dem nahen KKW bezieht.

Andere Studien

Die Ergebnisse zahlreicher anderer unabhängiger Studien decken sich mit den PSI-Resultaten. Einige der aktuellen Bewertungen und relevanten Überblickstudien der heutigen Kernenergiekette sind im Kasten aufgelistet (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Vattenfall (2004; 2005):	Lebenszyklusanalyse (LCA) zur ökologischen Produkt-Deklaration; Treibhausgas-Emissionen schwedischer LWR werden mit weniger als 4 g (CO ₂ -Äquivalent)/kWh angegeben.
British Energy (2005):	Lebenszyklusanalyse (LCA) zur ökologischen Produkt-Deklaration des Advanced Gas Cooled Reactors (AGR) Torness II; 5 g(CO ₂)/kWh.
ISA (2006):	LCA durch die Gruppe «Integrated Sustainability Analysis», ISA, der Universität Sydney; Treibhausgas-Emissionen einer hypothetischen australischen Kernenergiekette von rund 60 g(CO ₂ -Äquivalent)/kWh für LWR, mit einer Bandbreite mithilfe von Parametrisierung von 10 bis 130 g(CO ₂ -Äquivalent)/kWh. Die Werte am unteren Ende der Bandbreite sind auf Basis einer wenig kohlenstoffintensiven Wirtschaft berechnet, d. h. einer «90% Erneuerbar/Kernenergie Wirtschaft». Diese Ergebnisse liegen im Bereich der Resultate in (Dones et al. 2004b) und anderen japanischen Studien.
SDC (2006):	Untersuchung der «Sustainable Development Commission (SCD)» von 31 Veröffentlichungen zu Leichtwasserreaktorketten; Bandbreite der Ergebnisse von 30 Studien: 2 bis 77 g(CO ₂)/kWh, davon nur drei Studien mit Resultaten >40 g(CO ₂)/kWh; ein Ausreisser mit 140 bis 230 g(CO ₂)/kWh (WISE, anti-nuklear, aus einer niederländischen Quelle von 1992).
Weisser (2007):	Untersuchung von aktuellen LCA-Studien über Stromerzeugungstechnologien; Die Ergebnisse von vier Studien über oder inkl. Leichtwasserreaktoren liegen im Bereich von 3 bis 24 g(CO ₂ -Äquivalent)/kWh.
Fthenakis and Kim (2007):	LCA der US-spezifischen Verhältnisse für Fotovoltaik- und Kernenergieketten; Resultate für Leichtwasserreaktoren liegen im Bereich von 16 bis 55 g(CO ₂ -Äquivalent)/kWh.

Literatur

British Energy (2005) «Carbon footprint of the nuclear fuel cycle – Environmental Product Declaration of Electricity from Torness Nuclear Power Station – Technical Report». AEA Technology Environment, London, UK. <http://www.british-energy.com/pagetemplate.php?pid=251>

Dones R., Heck T. and Hirschberg S. (2004a) «Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems, Comparison and Overview.» In: Encyclopedia of Energy (Ed. Cleveland C.), Vol. 3, pp. 77–95. Academic Press/Elsevier, San Diego, USA.

Dones R., Bauer C., Bolliger R., Burger B., Faist Emmenegger M., Frischknecht R., Heck T., Jungbluth N. and Röder A. (2004b) Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Schlussbericht ecoinvent 2000 No. 6. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. www.ecoinvent.ch.

SDC (2006) Sustainable Development Commission, «The role of nuclear power in a low carbon economy – Paper 2: Reducing CO₂ emissions – nuclear and the alternatives – An evidence-based report by the Sustainable Development Commission, March 2006, UK. <http://www.sd-commission.org.uk/publications/downloads/Nuclear-paper2-reducingCO2emissions.pdf>

Fthenakis V. M. and Kim H. C. (2007) Greenhouse-gas Emissions from Solar Electric- and Nuclear Power: A Life-cycle Study. Energy Policy, Vol. 35, pp. 2549–2557.

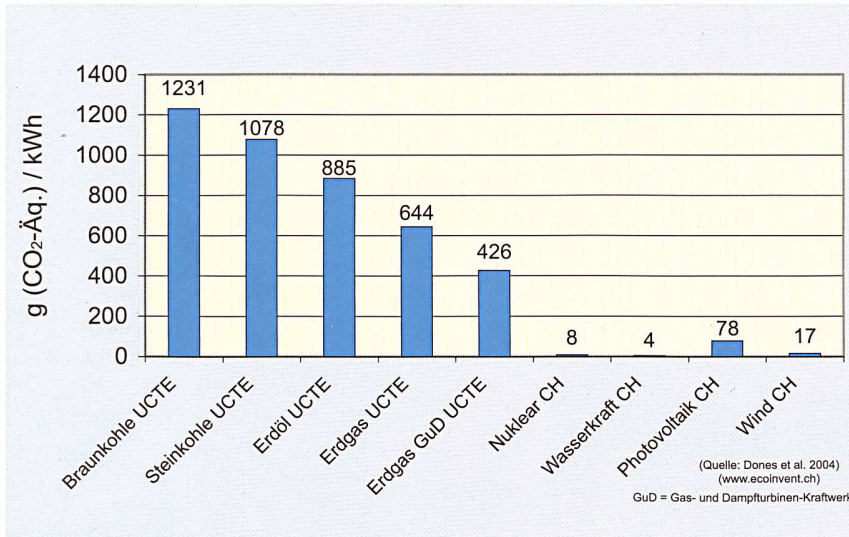
ISA (2006) Integrated Sustainability Analysis, The University of Sidney, «Life-Cycle Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Energy in Australia, Nov. 2006. http://www.pmc.gov.au/umpner/docs/commissioned/ISA_report.pdf

Storm van Leeuwen J.W. and Smith P., «Nuclear Power: the Energy Balance». Update 2005. <http://www.stormsmith.nl/>

Vattenfall (2004) Vattenfall AB Generation Nordic Countries – Certified Environmental Product Declaration of Electricity from Ringhals. NPP http://www.vattenfall.com/www/vf_com/vf_com/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/360168vatt/386246envi/2005-EPD-Ringhals.pdf

Vattenfall (2005) Vattenfall AB Generation Nordic Countries – Certified Environmental Product Declaration of Electricity from Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA). S-P-00021, June, 2004. Updated 2005. http://www.vattenfall.de/www/vf_com/vf_com/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/360168vatt/386246envi/2005-EPD-FKA.pdf

Weisser D. (2007) A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. Akzeptiert zur Publikation in «Energy».



Treibhausgas-Emissionen der heutigen durchschnittlichen europäischen (UCTE) und Schweizer Stromsysteme.

Es gibt aber auch einzelne Untersuchungen, deren Ergebnisse stark abweichen. Die Arbeit von Storm van Leeuwen und Smith (Update 2005) ist ein solcher Ausreisser, und ihre wesentlichen Fehler wurden bereits von vielen andern Experten kritisiert¹.

Die Nachprüfung des PSI bestätigte im Prinzip diese Kritiken und ergab folgende Hauptpunkte:

- Die Methodik und wesentliche Annahmen sind höchst fragwürdig und ihre Anwendung teilweise undurchsichtig und häufig bezogen auf völlig veraltete Referenzen. So sind in gewissen Fällen die Energieintensitäten (ausschlaggebend für die Treibhausgas-Emissionen) unkritisch angenommen und auf zweifelhafte Kostenumwandlungen abgestützt.
- Die Energie-Inputs im gesamten nuklearen Kreislauf sind systematisch überschätzt, was zu entsprechenden Fehlern in den dazu gehörigen CO₂-Emissionen führt. Der Energieaufwand für Aufbau und Rückbau eines KKW ist daher um den Faktor 15 bis 25 zu hoch angesetzt.
- Die Autoren berücksichtigen nicht die heutige Praxis des industriellen Uranabbaus. Das führt zu Fehlern im Ausmass von Grössenordnungen, speziell

für Minen mit sehr tiefem Erzgehalt –, die aber für die Situation in der Schweiz und Westeuropa überhaupt nicht relevant sind und auch vom PSI nicht untersucht wurden.

Für solche extremen Fälle (in der Zukunft) sind umfassende technische Studien durchzuführen, die den Energiebedarf und die damit verbundene Umweltbelastung samt den Kosten ermitteln –, und dies mit verlässlichen und realistischen Annahmen sowie unter Berücksichtigung der technologischen Fortschritte. Für einen Vergleich zukünftiger Optionen zur Stromversorgung sollten vollständige Energieketten der einzelnen Energiequellen und Technologien mit konsistenten Rahmenbedingungen und Systemgrenzen analysiert werden.

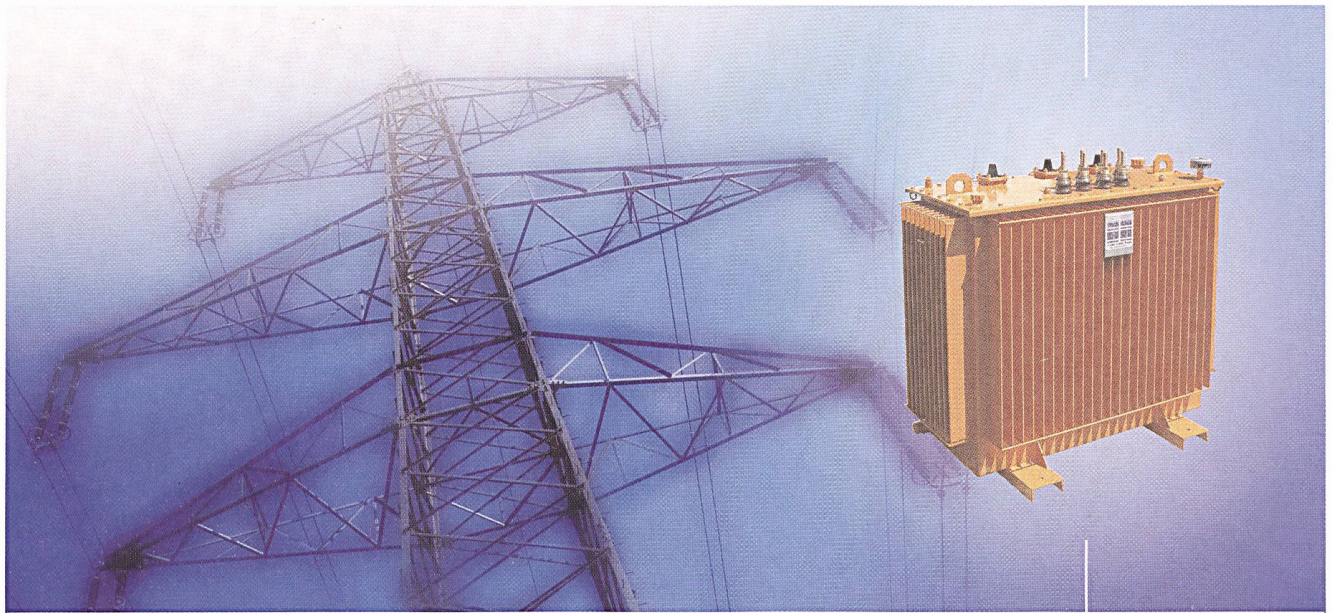
¹ (ISA 2006; <http://www.nuclearinfo.net/Nuclearpower/SeviorSLSRebutall>; <http://www.world-nuclear.org/info/inf11.html>)

Les émissions de CO₂ dans le cycle des technologies énergétiques

Chaque technologie énergétique nuit (plus ou moins) à l'environnement par ses émissions de CO₂. Pour pouvoir comparer les différentes technologies énergétiques, il faut analyser l'ensemble de leur cycle, de l'acquisition de la matière première à la production d'électricité et à l'élimination des déchets. L'institut Paul Scherrer (PSI) a effectué des études à ce sujet. Il mentionne aussi qu'il faut approfondir nos connaissances des conditions qui pourraient régner à l'avenir pour pouvoir évaluer les systèmes énergétiques futurs. Cela vaut en particulier pour la qualité des matières premières en régression par rapport aux progrès des technologies d'extraction.

Kontakt

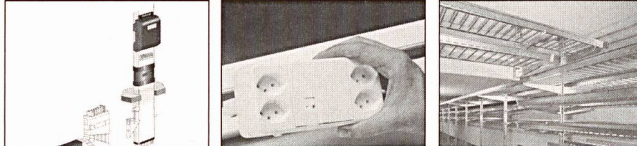
Paul Scherrer Institut (PSI)
Dipl. Ing. Roberto Dones
5232 Villigen PSI, Schweiz
roberto.dones@psi.ch



Die einfache Lösung für Ihr NISV-Problem
 – wir reduzieren die Felder an der Quelle
 auf ein Minimum.

**RAUSCHER
 STOECKLIN**

Rauscher & Stoecklin AG
 Reuslistrasse 32, CH-4450 Sissach
 T +41 61 976 34 66, F +41 61 976 34 22
 info@raustoc.ch, www.raustoc.ch



LANZ für Verwaltungsgebäude:

Für die Verbindung Trafo-Hauptverteilung und für die Stockwerkspeisung: 

- LANZ Stromschienen IP 68 400 A – 6000 A 1000 V. Cu oder Alu.
- Neu: Mit 200% Neutralleiter, max. EMV-Abschirmung und vergossenen lösbaren Kupplungen (intl. pat. pending).

Zur Kabelführung, auch mit Funktionserhalt im Brandfall:

- LANZ G-Kanäle, U-Kanäle, Gitterbahnen, Flachgitter, Multibahnen, auch farbig und aus rostfreiem Stahl A4. 

Zur Zuführung von Strom- / Daten- / Telefonleitungen:

- LANZ modulare Brüstungskanäle, 150×200 bis 250×300 mm
- Brüstungskanal-Stromschienen: 230 V/63 A und 400 V/63 A mit steckbaren Abgangskästen. Leerkanäle für Daten-/Telefonkabel.
- LANZ Bodenanschlussdosen, Kabelauslässe 8- / 16-fach.

Beratung, Offerte, rasche und preisgünstige Lieferung von **lanz oensingen ag** CH-4702 Oensingen Tel. 062 388 21 21

Mich interessieren Bitte senden Sie Unterlagen.

Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

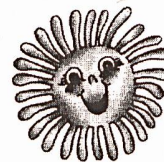
Name / Adresse / Tel. _____

A5



lanz oensingen ag

CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
 Telefon 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
 www.lanz-oens.com info@lanz-oens.com



**Ihr Partner
 für Solartechnik**

- Solarmodule
- Laderegler
- Solarteichpumpen
- Ventilatoren
- DC/DC-Wandler
- Sonnenkocher/Dörrier
- Kompakte Sparlampen 12/24 V E27
- Spez. Gleichstromstecker für Solaranlagen
- 12-V-Aussenlampen mit Bewegungsmelder
- Praktische Hand- und Taschenlampen
- Solarbatterien
- Neonröhren
- Solarviehhüter
- Wechselrichter
- Solarmobil-Akkus
- Zeitschalter 12 Volt
- 12-V-Kühlschränke

Grosses Akku- und Batteriensortiment

(Gel, NiMH, Vlies, Nass, Antriebsbatterien, Notstrom, usw.)

Verlangen Sie den 56-seitigen Solarkatalog kostenlos

Neuheit: Solardusche für Camping, Schrebergarten, Swimmingpool und Ferienhaus.



Import und Grosshandel:

Sumatrix AG

Abt. Solar- und Energietechnik
 Industriestrasse, 5728 Gontenschwil

E-Mail: solar@sumatrix.ch

Internet: http://www.sumatrix.ch

Telefon: 062 767 00 52

Telefax: 062 767 00 66