

Faktenblatt

Oktober 2015

Ökobilanz der Kernenergie: umweltschonend und effizient

In der öffentlichen Diskussion wird oft der Begriff «Ökostrom» verwendet. Verstanden wird darunter in der Regel Strom aus erneuerbaren und CO₂-armen Quellen wie Wasserkraft, Wind oder Sonne. Ausgeklammert wird dabei die Kernenergie. Zu Unrecht, wie umfassende wissenschaftliche Untersuchungen zeigen. Ein genauer Blick auf die Energie- und Umweltbilanzen von modernen Stromerzeugungssystemen zeigt, dass die Kernenergie heute zu einer der effizientesten und umweltschonendsten Energiequellen überhaupt geworden ist – übertroffen nur noch von der Wasserkraft.

Der Wirkungsgrad als Mass aller Dinge?

In einem herkömmlichen Kernkraftwerk können aus naturgesetzlichen Gründen nur gut ein Drittel der durch die Kernspaltung freigesetzten Wärmeenergie in elektrische

Energie umgewandelt werden. Die Kerntechnik wird oft wegen dieser vermeintlich geringen Effizienz kritisiert. Der Wirkungsgrad im Kraftwerk selbst sagt jedoch wenig über die Gesamteffizienz eines Energieerzeugungssystems aus.



Der Kernbrennstoff Uran in der Form, wie er in den Kernkraftwerken zum Einsatz kommt. Aus zwei solchen Uranoxid-Tabletten (UO₂) lässt sich soviel Strom erzeugen, wie ein 4-Personen-Haushalt in einem Jahr verbraucht.

Foto: KKG

Bei allen nicht-fossilen Stromerzeugungstechnologien fällt ein erheblicher Teil des Energieaufwands ausserhalb des Kraftwerks an: um den jeweiligen Brennstoff zu gewinnen und aufzuarbeiten, um Reststoffe und Abfälle zu entsorgen und nicht zuletzt, um das Kraftwerk selbst zu bauen und später auch wieder zurückzubauen. Bei Betrachtung dieser gesamten Erzeugungskette zeigt sich: Der relativ niedrige thermische Wirkungsgrad von heutigen Kernkraftwerken ist nur ein scheinbarer Nachteil. Er wird mehr als aufgehoben durch die sehr niedrigen Schadstoff- und Treibhausgasemissionen der Kernenergie und die geringen Stoffmengen, die zu ihrer Nutzung nötig sind.

Die enorm hohe Energiedichte des Kernbrennstoffs bzw. die geringen Emissionen und die vergleichsweise bescheidenen Materialmengen sind der entscheidende ökonomische und ökologische Wettbewerbsvorteil für die Kernenergie.

Dieser Pluspunkt ist im Hinblick auf die Herausforderungen wichtig, vor denen die Menschheit angesichts des steigenden Energiebedarfs vor allem in den bevölkerungsreichen Schwellenländern wie China, Brasilien oder Indien steht. Es geht darum, die Umwelt- und Klimabelastungen durch die Energieproduktion möglichst tief zu halten und gleichzeitig mit den knapper und teurer werdenden Rohstoffen wie Eisen, Kupfer oder Aluminium so haushälterisch wie möglich umzugehen.

Der Erntefaktor der Kernenergie verbessert sich zudem weiter, da die beiden letzten energieintensiven Gasdiffusions-Anreicherungsanlagen in Frankreich und in den USA in den letzten Jahren durch moderne Zentrifugenanlagen ersetzt worden sind. Der Energiebedarf für die Urananreicherung reduziert sich dabei auf ein Fünftel.

Die Kernenergie gehört bezüglich des zu ihrer Nutzung nötigen Energieeinsatzes zu den günstigsten Stromerzeugungssystemen.

Hoher Erntefaktor

Die Stärken der Kernenergie zeigen sich deutlich beim Blick auf die Energieeffizienz der nuklearen Produktionskette, d.h. beim Energieeinsatz, der insgesamt geleistet werden muss, um schliesslich im Kernkraftwerk Strom zu erzeugen. Der Energieaufwand für Bau und Entsorgung des Kraftwerks selbst wie auch für die Gewinnung, Aufbereitung und Anreicherung des Urans und die Entsorgung des ausgedienten Kernbrennstoffs beläuft sich auf deutlich weniger als 10% der Stromproduktion während der Betriebszeit. Damit liegt die Kernenergie bezüglich des Erntefaktors EROI (Energy Return on Investment) in der Spitzengruppe, zusammen mit Wasserkraftwerken und Gaskombikraftwerken.

Energiebilanz von Uranminen

Entgegen anderslautenden Behauptungen hat der Energieaufwand in den Uranminen keine wesentliche Bedeutung in der nuklearen Produktionskette. Die bisherigen praktischen Erfahrungen im Uranbergbau zeigen, dass Uranerze mit Konzentrationsgraden bis hinunter zu 0,01% oder noch tiefer ohne massiv steigenden Energieaufwand gewonnen werden können, und oft werden gleichzeitig mit dem Uran noch weitere Rohstoffe gefördert.

Heutige Uranminen verbrauchen nur einige Promille der in einem herkömmlichen Kernkraftwerk aus dem Uran gewinnbaren Energiemenge, und das fast unabhängig von der Konzentration im Erz. Das bedeutet auch,

Weitere Informationen zum Thema Energieeffizienz der Kernenergie finden sich bei der World Nuclear Association www.world-nuclear.org, Links «Information Library» → «Energy Analysis of Power Systems»

Weitere Informationen zu den Lebenszyklus-Analysen des PSI finden sich auf der Website des Labors für Energiesystem-Analysen (LEA): www.psi.ch/lea

Umfassende Forschungsarbeit am PSI

Das Paul Scherrer Institut (PSI), eine Institution des ETH-Bereichs, berechnet und vergleicht seit vielen Jahren die Umwelt- und Gesundheitsbelastungen der verschiedenen Stromerzeugungstechniken unter den realen Bedingungen in der Schweiz und im europäischen Stromverbundnetz. Die Energieketten werden dabei gesamtheitlich «von der Wiege bis zur Bahre» erhoben (sogenanntes Life Cycle Assessment). Bei der Kernenergie heisst das, dass alle Produktionsschritte in die Bilanzen einfließen – vom Bau der Kernkraftwerke über den Abbau des Uranerzes und die Herstellung des Kernbrennstoffs bis zum Rückbau der Anlagen und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern.

Die Wissenschaftler des PSI stützen sich dabei auf die «ecoinvent» Datenbank, die von PSI, ETH Zürich, EPF Lausanne, EMPA und Agroscope gegründet worden ist und die weltweit umfangreichste Datensammlung für Life Cycle Assessment darstellt. Die vom PSI veröffentlichten Resultate wurden in bekannten und durch internationale Experten begutachteten wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert. Die Daten sind weltweit zugänglich und unterliegen damit einer ständigen kritischen Überprüfung.

Uranminen wie diese in Rössing, Namibia, benötigen für ihren Betrieb nur einen geringen Teil der Energie, die nachher in den Kernkraftwerken aus dem Uran gewonnen wird.
(Bild: Rio Tinto)



dass die energetisch sparsam gewinnbaren Uranreserven der Erde beim heutigen Verbrauch noch hunderte von Jahren ausreichen.

Die Kernenergie ist auch bei der Nutzung von sehr gering konzentrierten Uranvorkommen eine sehr effiziente Stromerzeugungstechnik und wird es auch in Zukunft bleiben.

Dazu kommt, dass weltweit grosse Mengen an abgereichertem Uran eingelagert sind, die bei steigendem Uranpreis in Anreicherungsanlagen erneut zu Kernbrennstoff aufgewertet werden können. Zudem finden sich erhebliche Mengen an Uran in den Phosphatvorkommen für die Düngemittelproduktion, in den Abraumhalden von Goldminen und in der Asche, die bei der Kohleverbrennung zurückbleibt.

Falls in den kommenden Jahrzehnten der weltweite Kernkraftwerkspark mit Schnellen Brütern ergänzt wird, erhöht sich die aus einem Kilogramm Natururan erzeugbare Strommenge um mindestens das 50-fache und entsprechend auch die Reichweite der Uranressourcen der Erde. Allein die heute ein-

gelagerten Reserven an abgereichertem Uran könnten bei Ergänzung des heutigen Kernkraftwerksparks durch sogenannte Schnelle Brüter rein rechnerisch die heutige weltweite Stromproduktion aus Kernkraftwerken für mehr als 4000 Jahre sicherstellen, ohne dass eine Uranmine betrieben werden müsste.

Schliesslich ist die Ausnutzung des Kernbrennstoffs in den vergangenen Jahrzehnten durch den technischen Fortschritt um ein Vielfaches gesteigert worden, was die natürlichen Uranreserven der Erde zusätzlich schont.

Die Kernenergie schont nicht nur die natürlichen Ressourcen der Erde; sie stellt sogar zusätzliche Ressourcen für zukünftige Generationen bereit. Für die Kernbrennstoffversorgung der Zukunft bieten sich gleich mehrere Optionen an.

Verfügbarkeit

Zur Effizienz der Kernenergie gehört auch der Umstand, dass die Schweizer Kernkraftwerke heute rund elf Monate pro Jahr voll für die Produktion zur Verfügung stehen und nur wenige Wochen für Wartungsarbeiten und Brennstoffwechsel abgestellt werden müssen.

Das bedeutet, dass in der Schweiz ein Kernkraftwerk jährlich rund sechsmal mehr Strom erzeugt als ein Windpark gleicher Leistung und acht- bis neunmal soviel wie Fotovoltaikanlagen gleicher Leistung, da die Verfügbarkeit dieser Stromquellen von den Windverhältnissen und der Sonneneinstrahlung abhängt und starken Schwankungen unterliegt.

Die Kernenergie ist wegen ihrer hohen Verfügbarkeit rund um die Uhr und zu allen Jahreszeiten ideal geeignet zur Abdeckung der Grundlast in einem Stromnetz.

Rohstoffbedarf

Die Stromproduktion erfordert auch den Einsatz nichtenergetischer Rohstoffe wie zum Beispiel Kupfer, Eisen oder Aluminium sowie von Beton. Insbesondere die metallischen Rohstoffe stehen auf der Erde nicht unbeschränkt zur Verfügung und sie werden in fast allen Lebensbereichen eingesetzt.

Die Lebenszyklusanalysen des Paul Scherrer Instituts (PSI, siehe Kasten Seite 2) zeigen, dass beim Bedarf des für die Stromwirtschaft wichtigen Metalls Kupfer die Wasserkraft und die Kernenergie am besten abschneiden, während die Wind- und vor allem die Solaranlagen eine sehr viel schlechtere Bilanz aufweisen, insbesondere wenn sie in windschwachen

bzw. relativ sonnenarmen Gebieten wie der Schweiz gebaut werden (siehe Grafik). Dieses Gesamtbild gilt ähnlich für weitere Metalle wie Eisen oder Aluminium.

Im Vergleich zu Windkraftwerken und Solarzellen bindet die Kernenergie sehr wenig Material, was im Hinblick auf die Verknappung der Rohstoffe und die steigenden Rohstoffpreise in Zukunft wichtig werden dürfte.

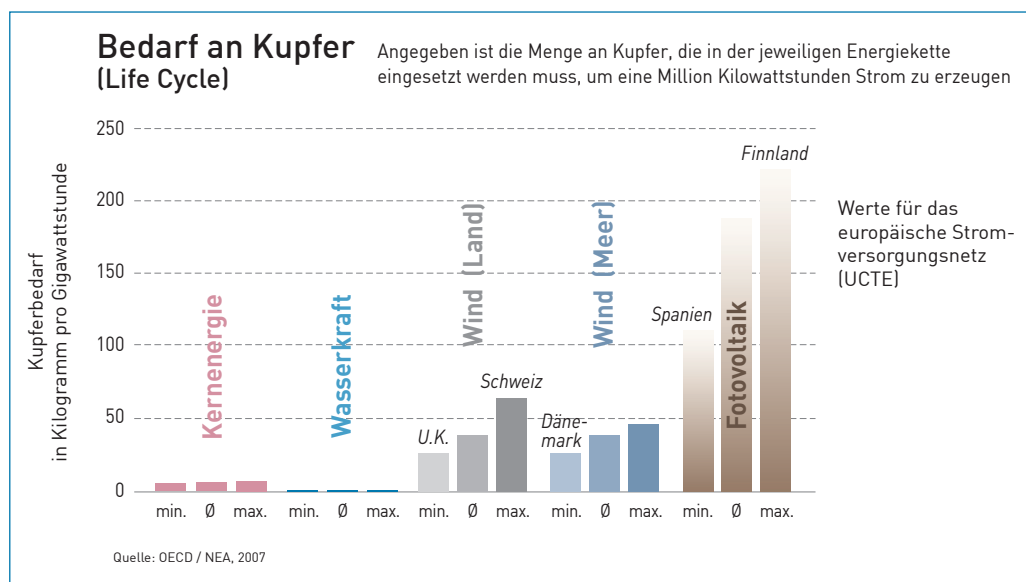
Luftschadstoffe und Landverbrauch

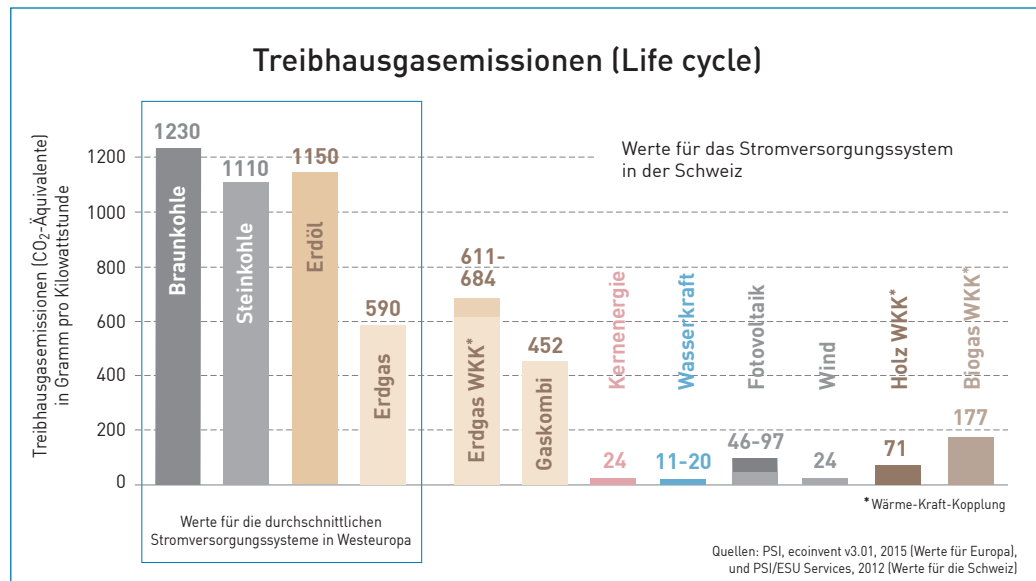
Gemäss den Lebenszyklusanalysen des PSI gehört die Kernenergie bei den Luftschadstoffen Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Feinstaub zusammen mit den erneuerbaren Energien zu den gesundheitsschonendsten Energietechnologien überhaupt.

Das Gleiche gilt für den Landverbrauch: Hier ist die Kernenergie sogar klar die sparsamste Stromerzeugungstechnik, auch wenn die Uranminen mitgerechnet werden.

Treibhausgase

Aus den Lebenszyklusanalysen des PSI geht weiter hervor, dass in der Schweiz die Stromproduktion aus Wasserkraft und Kernenergie die geringsten Mengen an Treibhausgasen





Weitere Informationen zum Nachhaltigkeitsindex des Weltenergie-rats finden sich auf der Website: www.worldenergy.org, Links «Publications» → «2014» → «World Energy Trilemma 2014» → «2014 Energy Trilemma Index»

freisetzt. Diese Bilanz umfasst alle Schritte der nuklearen Produktionskette: den Bau und Betrieb der Kernkraftwerke, den Aufwand für den Abbau und die Anreicherung des Urans wie auch die Klimagasemissionen bei der Entsorgung der radioaktiven Abfälle.

Die obestehende Grafik gibt die durchschnittlichen Verhältnisse in der Schweiz bzw. Europa wieder.

Die sehr tiefen CO₂-Emissionen der Kernenergie belegen die hohe Energieeffizienz des Kernbrennstoffkreislaufs.

Dank Kernenergie an der Weltspitze

Wegen dieser Vorteile führt der Weltklimarat der Uno (IPCC) neben den erneuerbaren Energien auch die Kernenergie als Schlüsseltechnologie zur Linderung des Klimaproblems auf. Der Unterschied zu den fossilen Energieträgern fällt ins Gewicht: Würden wir heute den in der Schweiz erzeugten Atomstrom in modernen Gaskombikraftwerken erzeugen, würde die Luft mit so viel CO₂ zusätzlich belastet, wie alle Autos in der Schweiz ausstossen.

Die insgesamt günstige Ökobilanz der Kernenergie wird beispielsweise in den USA oder in Grossbritannien offiziell anerkannt: Dort gilt die Kernenergie als «clean energy»

und wird bei der Förderung den erneuerbaren Energien gleichgestellt. Das Beispiel der Schweiz gibt ihnen Recht: Unser Land steht beim weltweit erhobenen Nachhaltigkeitsindex des Weltenergie-rats auf Rang 1 – nicht zuletzt wegen des heutigen, umweltschonenden und zuverlässigen Strommix aus rund 55% Wasserkraft und fast 40% Kernenergie.

Radioaktive Abfälle

Bei den radioaktiven Abfällen steht die Kernenergie im Vergleich zu den anderen Stromerzeugungssystemen naturgemäss bei weitem am unvorteilhaftesten da. Der Vorteil der enorm hohen Energiedichte des Urans führt jedoch dazu, dass die Menge des radioaktiven Abfalls im Vergleich zu chemischen Sonderabfällen gering ist.

Aus heutiger Sicht werden die bestehenden Schweizer Kernkraftwerke bis zum Ende ihrer Betriebsdauer einschliesslich der Verpackung rund 7300 Kubikmeter hochradioaktive Abfälle produzieren, was etwa dem Volumen von sieben Einfamilienhäusern entspricht. Dazu kommen aus dem Kraftwerksbetrieb und dem Rückbau der Kernkraftwerke (verpackt) rund 60000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle, die jedoch nur 1,7% der Radioaktivität aller Abfälle enthalten. Aus der Kehrlichtverbrennung hinterlässt jeder Be-

wohner der Schweiz beispielsweise fast 50-mal mehr schwermetallhaltige Rückstände, die in Oberflächendeponien gelagert werden.

Weitere Informationen zur Menge der radioaktiven Abfälle finden sich auf der Website der Nagra: www.nagra.ch, Links «Was entsorgen» → «Volumen»

Die insgesamt geringen Mengen an radioaktiven Abfällen können konsequent eingeschlossen und in geologischen Tiefenlagern für sehr lange Zeiträume entsorgt werden, ohne dass die Umwelt Schaden nimmt. Der Bundesrat hat das anerkannt und den Entsorgungsnachweis der Nagra für alle Arten von radioaktiven Abfällen genehmigt. Das Verfahren des Bundes zum Festlegen der konkreten Lagerstandorte ist im Gang.

Die durch die Entsorgung entstehenden Kosten in Milliardenhöhe werden verursachergerecht von den Kernkraftwerken bzw. den Atomstromkonsumenten getragen. Wegen der hohen Wertschöpfung bei der nuklearen Stromproduktion ist dieser Aufwand finanzierbar, ohne dass dadurch die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie beeinträchtigt wird.

Dank der geringen Mengen und der hohen Wertschöpfung bei der Nuklearstromproduktion ist es technisch möglich und wirtschaftlich machbar, die radioaktiven Abfälle konsequent einzuschliessen und für ausreichend lange Zeiträume sicher zu entsorgen.

Nuklearforum Schweiz
Frohburgstrasse 20
4600 Olten
Telefon 031 560 36 50
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch



Geordnete Entsorgung: Nach 50 Jahren Strom aus Kernenergie hinterlässt jeder Einwohner der Schweiz diese geringe Menge an ausgedientem hochradioaktivem Kernbrennstoff.

Foto: Nuklearforum Schweiz

Fazit

→ Die Kernenergie ist eine sehr umweltfreundliche und effiziente Energiequelle. Ihre gute Gesamt-Ökobilanz wird einzig von der Wasserkraft noch übertroffen.

→ Alle verfügbaren Indikatoren zur Energie- und Umweltbilanz zeigen, dass der Strom aus Kernenergie ebenso «grün» ist wie sogenannter «Ökostrom», da er mindestens so umweltschonend produziert wird wie der Strom aus den neuen erneuerbaren Energien.

→ Die tiefen CO₂-Werte belegen die hohe Gesamteffizienz der Kernenergiesysteme. Die ebenfalls tiefen Stromerzeugungskosten widerspiegeln das gute Verhältnis von gesellschaftlichem Gesamtaufwand zum gesellschaftlichen Gesamtnutzen.

→ Die laufenden Forschungsarbeiten und die Rohstofflage lassen erwarten, dass die Kernenergie in Zukunft noch deutlich effizienter wird. Sie hat ein enormes Entwicklungspotenzial.

→ Generell gilt, dass Kernenergiesysteme – wie auch die erneuerbaren Energien – umso bessere Ökobilanzen haben, je weniger fossile Primärenergie und insbesondere Kohle in der allgemeinen Stromversorgung eingesetzt wird.

→ Die radioaktiven Abfälle können in der Schweiz dauerhaft entsorgt werden, ohne dass die Umwelt Schaden nimmt. Das Verfahren zum Festlegen der Lagerstandorte ist im Gang.

→ Auf der Kostenseite gilt, dass die vergleichsweise kostengünstige Kernenergie die deutlich teureren erneuerbaren Energien quersubventionieren kann, wodurch die Preise für Strom mit einer günstigen Ökobilanz für die Konsumenten tiefer gehalten werden können als ohne Kernenergie.