Zeitschrift: Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES

Herausgeber: Schweizerische Energie-Stiftung

Band: - (2007)

Heft: 2: Energieeffizienz : der Schlüssel zur Energie-Zukunft

Artikel: Atomkraftwerke : Verschwendung mit Langzeitfolgen

Autor: Paschotta, Rüdiger

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-586280

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.08.2025

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

Atomkraftwerke – Verschwendung mit Langzeitfolgen

Heutige Atomkraftwerke nutzen nur einen verschwindend kleinen Teil der Energie des Urans – weniger als ein Prozent. Dies hat Folgen nicht nur für die Reichweite der Vorräte, sondern auch für die Atommüllproblematik.

Von **DR. RÜDIGER PASCHOTTA**
Physiker, Paschotta@rp-photonics.com

Die Nutzung der Kernspaltung versprach vor nicht allzu langer Zeit noch Energie in Fülle für Jahrtausende. Inzwischen spricht man häufig von einer Reichweite der verbleibenden Uranvorräte von rund 50 (oder vielleicht 100) weiteren Jahren – obwohl heute nur ein paar wenige Prozent der weltweit umgesetzten Primärenergie aus Uran stammen. Im Folgenden soll diese Diskrepanz erklärt und der Zusammenhang mit Problemen der Endlagerung gezeigt werden.

Die «Effizienz» heutiger Atomkraftwerke

Auf die Frage, wie viel Prozent der Energie des Urans in einem heutigen Atomkraftwerk (AKW) nutzbar gemacht werden, würde man häufig die Antwort bekommen, es seien zirka 30 bis 35%, in Einzelfällen 40%. Dies wäre allerdings die korrekte Antwort auf eine andere Frage: Wie viel Prozent der nuklear erzeugten Wärme werden in Elektrizität umgewandelt? Es geht dann also um den thermodynamischen Wirkungsgrad, der für typische heutige AKW in etwa demjenigen von älteren Kohlekraftwerken entspricht, während neueste Kohlekraftwerke teils zirka 50% erreichen und Gaskraftwerke u. U. deutlich über 60%.
Schockierend ist aber die Antwort auf die ursprüngliche Frage: Der Nutzungsgrad beträgt weit unterhalb eines einzigen Prozents! Dies, weil nur ein sehr kleiner Teil der Energie des Urans in Wärme umgewandelt wird. Die heutigen Reaktoren nutzen nämlich im Wesentlichen nur das Uran 235 (^{235}U), welches ca. 0,7% des Natururans ausmacht. Durch Urananreicherung erhält man typischerweise einen ^{235}U-Anteil von einigen Prozenten. Hierbei verbleiben ca. 90% des eingesetzten Natururans als «abgereichertes» Uran, welches relativ ungefährlich ist, solange es nicht in Form von Panzergranaten verschossen wird. Im Reaktor entsteht Wärme durch die Kernspaltung eines guten Teils des ^{235}U, zuzüglich eines kleineren Beitrags des ebenfalls leicht spaltbaren Plutoniums (^{239}Pu), welches im Reaktor durch Neutronenbeschuss aus dem Uran 238 (^{238}U) entsteht, dem Hauptbestandteil des Natururans. Was im Brennstab nach einigen Jahren des Reaktorbetriebs übrig bleibt, ist ein Rest des Urans 235, der Grossteil des Urans 238, ein kleiner (aber sehr gefährlicher) Anteil von Plutonium und anderen so genannten Transuranen, vermischt mit den stark radioaktiven Spaltprodukten.

Auswirkungen auf die Reichweite

Effektiv wird also nur das Uran 235 weitgehend genutzt, wozu ein kleinerer Beitrag von Plutonium aus Uran 238 kommt. Ungenutzt bleiben der Löwenanteil des Urans 238 sowie die verbleibenden Transurane. Es wird also grob geschätzt ein halbes Prozent (bestenfalls 1%) der im Uran enthaltenen Energie in Wärme umgesetzt, wovon dann noch einmal zwei Drittel bei der Umwandlung in elektrische Energie verloren gehen. Auf diese Weise schrumpft die Reichweite der Uranvorräte von Jahrtausenden auf Jahrzehnte.

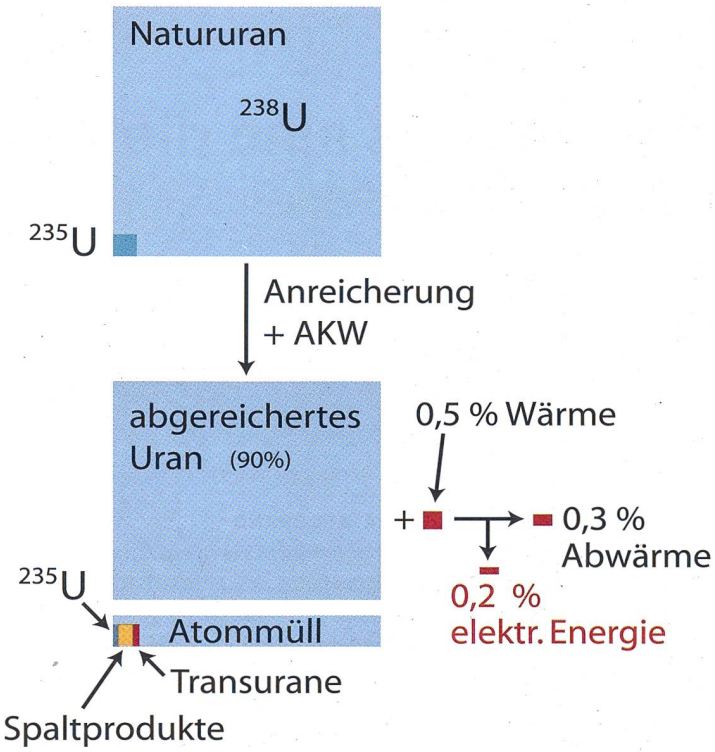
... und auf die Endlagerung

Der Atommüll der oben genannten Zusammensetzung muss erst einmal für Jahrzehnte stark gekühlt werden, da die starke Radioaktivität noch lange nach dem Reaktorbetrieb sehr viel Wärme freisetzt.
Gemäss heutigen Plänen etwa der Schweiz wird das Material dann entsprechend verpackt in Endlager verbracht werden, wenn diese irgendwann einmal zur Verfügung stehen. Anfangs dominiert die Strahlung der Spaltprodukte, nach einigen Jahren vor allem von Cäsium und Strontium, die von Tschernobyl her gut bekannt sind. Nach einigen Jahrhunderten sind die Spaltprodukte weitestgehend zerfallen und einigermassen harmlos; es verbleiben aber die Transurane, die viel längere Halbwertzeiten haben: z. B. etwa 24'000 Jahre im Falle des Plutoniums 239, und zum Teil gar noch viel länger. Selbst nach 100'000 Jahren ist dieses Material noch hochgefährlich. Wie es für so lange Zeit von der Biosphäre ferngehalten werden soll, ist völlig unklar; selbst Sicherheit für 10'000 Jahre ist eine ungeheure Herausforderung.

Besser mit Wiederaufarbeitung?

Mit Hilfe der heute teils praktizierten Wiederaufarbeitung (PUREX-Prozess) lässt sich die Effizienz der Atomenergienutzung ein wenig erhöhen. Hierzu

trennt man den Restanteil von Uran 235 sowie das Plutonium 239 aus den abgebrannten Brennelementen ab und verarbeitet dieses Material zu so genannten Mischoxid-Brennelementen (MOX). So nutzt man das Uran 235 vollständiger, und erhöht etwas den Anteil des durch Neutronenbeschuss umgewandelten Urans 238. Der gesamte Energienutzungsgrad steigt jedoch nicht dramatisch, und dafür zahlt man einen hohen Preis. Der Prozess ist sehr gefährlich und hat zu vielen Unfällen und Verseuchungen geführt, obwohl er immerhin an einigen Orten (z. B. in La Hague) technisch beherrscht wird. Die Kosten dieses «Recyclings» sind hoch, so dass sich dies wirtschaftlich erst bei sehr hohen Uranpreisen lohnen würde. Später gibt es Probleme mit den abgebrannten MOX-Brennelementen, die noch wesentlich schwieriger zu handhaben sind als diejenigen aus Natururan, vor allem auch bei weiterer Wiederaufarbeitung. Zudem besteht die Gefahr der Abzweigung von waffenfähigem Plutonium. Somit wird klar, dass diese Strategie nicht nur wirtschaftlich unattraktiv, sondern insgesamt sinnlos ist.



Energienutzung in einem herkömmlichen AKW, mit grob geschätzten Zahlen, da diese für verschiedene Reaktortypen deutlich variieren. Die Prozentzahlen beziehen sich auf die gesamte Energie im Uran. Weit unter 1% davon wird als elektrische Energie gewonnen.

Schnelle Brüter: grosse Vorteile, neue Probleme

Eine ganz andere Situation würde entstehen beim Einsatz so genannter «Schneller Brutreaktoren». Diese arbeiten mit schnellen Neutronen und erlauben es in Kombination mit einer modifizierten Form der Wiederaufarbeitung, im Prinzip den Grossteil der Energie des Urans zu erschliessen. Hierfür war die Wiederaufarbeitung ursprünglich vorgesehen. Früher oder später würde damit alles Uran 238 in Plutonium und andere Transurane umgewandelt, und auch die Transurane könnten mit geeignet konstruierten Reaktoren weitgehend der Kernspaltung zugeführt werden. Somit würde erstens der Nutzungsgrad des Urans dramatisch gesteigert, so dass wirklich Energie für sehr viele Generationen erzeugt und der umweltbelastende Uranbergbau drastisch reduziert werden könnte. Zweitens würden als Atommüll fast nur Spaltprodukte übrig bleiben, die zwar anfangs stark radioaktiv sind, aber im Laufe einiger Jahrhunderte weitgehend ungefährlich werden. Selbst wenn ein kleinerer Teil der Transurane im Atommüll verbliebe, würde dieses Konzept offensichtlich die Problematik der Endlagerung wesentlich entschärfen.

Aus diesen Gründen gingen noch in den 1980er-Jahren viele Experten davon aus, dass im 21. Jahrhundert hauptsächlich Schnelle Brüter gebaut würden. Dass es völlig anders kam, liegt vor allem an schwerwiegenden technischen Problemen, die z. B. den französischen Superphénix zu einem finanziellen Fiasko werden liessen, ähnlich wie beim japanischen Monju-Reaktor, um die beiden modernsten Anlagen zu nennen. Noch niemals hat ein kommerzieller Brüter einen zuverlässigen und annähernd wirtschaftlichen Betrieb erreicht. Hierzu kommt ein Gefahrenpotenzial im Betrieb, welches das von Leichtwasserreaktoren erheblich übersteigt (z. B. durch die Verwendung von flüssigem Natrium als Kühlmittel), sowie die ideale Eignung zur Herstellung von Waffenplutonium, welches die Welt noch unsicherer macht. So wird der Bau eines Brüters z. B. auch in der Schweiz nicht einmal erwogen; ein neues AKW würde auf jeden Fall auf einem konventionellen Leichtwasserreaktor basieren.

Fazit

Die Uranausnutzung der heutigen und der meisten geplanten Reaktoren ist miserabel, was nicht nur die Reichweite der Uranvorräte von Jahrtausenden auf Jahrzehnte reduziert, sondern gleichzeitig die Endlagerproblematik entscheidend verschärft. Wir sind also dabei, innerhalb weniger Generationen einen Grossteil der Uranvorräte zu fördern und einen Teil davon in über Hunderttausende von Jahren strahlenden Müll zu verwandeln, um so einige Prozent unseres Energiebedarfs zu decken. Brutreaktoren könnten dieses Dilemma im Prinzip auflösen, jedoch sind sie aus verschiedenen Gründen auf absehbare Zeit nicht einsetzbar. Immerhin denkbar wäre es, in den nächsten 50 Jahren das Problem der Atomwaffen-Proliferation politisch zu lösen, sicher funktionierende Brutreaktoren zu entwickeln und mit diesen dann das angefallene abgereicherte Uran (oder gar den angefallenen Atommüll) zu nutzen. Ob das zu schaffen ist und Atomenergie dann noch benötigt wird, steht freilich in den Sternen. <