

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 18

Artikel: Die Entsorgung von Kernkraftwerken

Autor: Hauser, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905011>

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: 26.01.2026

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

ist die Atomenergie aber zumindest für die Energieversorgung der Agglomerationsgebiete der Dritten Welt genauso unerlässlich wie für die Industriestaaten. Bei fast allen anderen Energien ist der Umwandlungs- oder Nutzungsgrad, wie empirische Untersuchungen belegen, katastrophal niedrig, was vor allem mit der traditionalistischen Lebensweise in diesen Ländern zusammenhängt. Kurzfristig kann im allgemeinen nur Erdöl als Motor der Entwicklung dienen, für das aber die notwendigen Devisen fast nirgends mehr zur Verfügung stehen.

Die Hoffnungen der Dritten Welt, mit Hilfe der OPEC den Geldstrom der Entwicklungshilfe verbreitern zu können, haben sich nur in bescheidenem Ausmass erfüllt. Wird sich die ohnehin immer überschätzte Macht der OPEC, wie es sich die Industrieländer erhoffen, weiter verringern, dann wird auch dieser Traum zu Ende gehen. Unter dem Gesichtspunkt der Entwicklungshilfe können somit die Industrienationen selbst kein Interesse daran haben, dass sich die Finanzlage der ölexportierenden Länder zunehmend verschlechtert, da die entwicklungspolitische Last dann wieder in erster Linie auf sie zurückfällt.

Das Energieproblem vor allem der ärmeren Länder der Dritten Welt ist bis heute, am absoluten Energiebedarf gemessen, wenig gravierend. Hinsichtlich der sozialen und ökologischen Auswirkungen dagegen kann seine Bedeutung kaum überschätzt werden. Die mittel- bis langfristige Antwort heisst auch für dieses Problem «Technologietransfer». Aber Transfer einer Technologie, die weitgehend erst noch erarbeitet und, wie das Schlagwort von der «angepassten Technik» veranschaulicht, einer neuen entwicklungspolitischen Zielrichtung unterworfen werden muss. Nicht zuletzt an der Lösung solcher scheinbar wenig spektakulärer Aufgaben wird es sich erweisen, ob die bedenkliche Entwicklung hin zum «weltwirtschaftlichen Wohlfahrtsstaat» weiter voranschreitet, oder ob es gelingt, die überall reichlich verfügbaren produktiven Kräfte besser zu nutzen. Die Chance, einen Teil der Milliarden aus dem Ölgeschäft produktiv zu nutzen, scheint auch in entwicklungspolitischer Hinsicht leichtfertig vertan zu werden.

Adresse des Autors:

H. Schweikert, Dr. rer. pol., Direktionsstab der Industriellen Werke Basel, Margarethenstrasse 40, 4053 Basel.

Die Entsorgung von Kernkraftwerken

Von G. Hauser

In der heutigen Diskussion über die Stromerzeugung aus Kernkraftwerken nimmt die Beseitigung der anfallenden radioaktiven Abfälle eine zentrale Stelle ein. Die technischen Möglichkeiten zur Zwischen- und Endlagerung dieser Abfälle werden aufgezeigt und die zu erwartenden Kosten wie auch die zukünftigen Perspektiven der Entsorgung kurz gestreift.

Dans le cadre des discussions actuelles sur la production de courant électrique à partir de centrales nucléaires, l'élimination des déchets nucléaires revêt une importance centrale. Il est présenté les possibilités techniques de stockage intermédiaire et définitif de ces déchets ainsi que les coûts à attendre et les perspectives d'avenir du domaine de l'élimination.

1. Einleitung

Entsorgung bezeichnet den Gegensatz zu Versorgung und ist in diesem Sinne eigentlich schon immer im Sprachschatz von Ingenieuren – und nicht nur von diesen – vorhanden gewesen. Häuser, Städte, Dörfer und Industrieanlagen müssen nicht nur versorgt, sondern auch entsorgt werden. Auch Wärmekraftwerke müssen entsorgt werden, gleichgültig ob fossile oder nukleare.

Bei Kohlekraftwerken zum Beispiel geschieht die Entsorgung für einen grossen Teil der Abfälle durch Abgabe in die Atmosphäre. Ein Kohlekraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1000 MW emittiert jährlich etwa 70 000 Tonnen Schwefeldioxid, 10 000 Tonnen Stickoxide, 3500 Tonnen Staub und 7 000 000 Tonnen Kohlendioxid. Es ist eine grosse technische und wirtschaftliche Herausforderung, diese Emission so zu reduzieren, wie es den Zielvorstellungen des Umweltschutzes entspricht. Bei der Stromerzeugung in Kernkraftwerken ist man von Anfang an anders an die Entsorgung herangegangen, nämlich vorsorgend.

Ein Kernkraftwerk wird mit Brennelementen versorgt, die das spaltbare Uran 235 enthalten. Im Reaktor findet die Kernspaltung statt, die die Wärmequelle für die Stromerzeugung liefert. Folgeprodukte der Kernspaltung sind radioaktive Spaltprodukte und Transuranelemente, insbesondere Plutonium, die zusammen mit dem unverbrannten Uran in den verbrauchten Brennelementen eingeschlossen bleiben. Die Spaltprodukte und eine kleine Menge Transuranelemente sind der eigentliche Abfall der Kernspaltung. Ausserdem entsteht spaltbares Plutonium. Figur 1 zeigt quantitativ, wie sich der Kernbrennstoff im Reaktor verändert.

Zur Entsorgung der Kernkraftwerke werden die verbrauchten Brennelemente für längere Zeit in Zwischenlagern untergebracht, zunächst am Kernkraftwerk selbst, dann evtl. in zentralen Zwischenlagern. Anschliessend erfolgt die Wiederaufarbeitung der Brennelemente, wobei anzustreben ist, das Plutonium weitestgehend abzutrennen und als Kernbrennstoff zu rezyklieren, d. h. wiederzuverwenden.

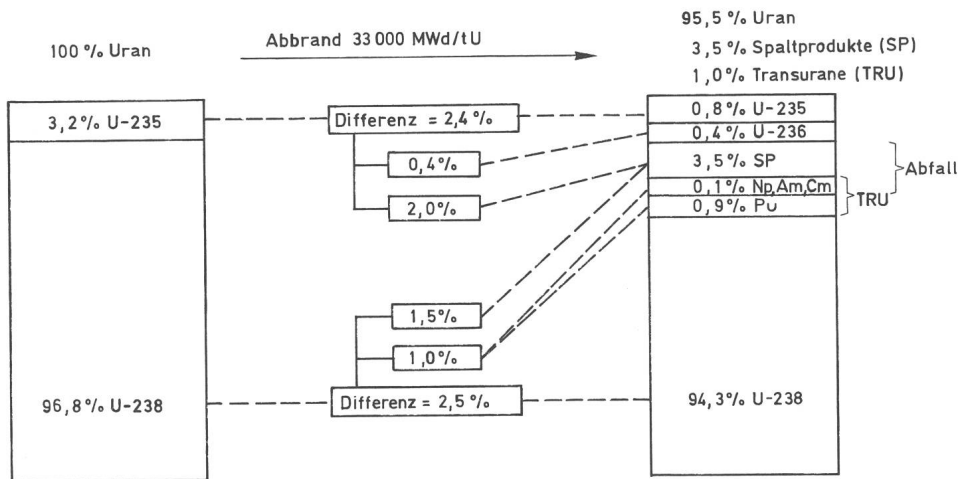


Fig. 1
Umwandlung des Kernbrennstoffes
im Reaktor

2. Wie funktioniert die nukleare Entsorgung technisch?

Grundgedanke ist die möglichst weitgehende Schliessung des Brennstoffkreislaufes, was bedeutet, dass das erzeugte Plutonium und das nicht verbrauchte Uran in Form neuer Brennelemente in die Reaktoren von Kernkraftwerken zurückgeführt werden.

Die Bereiche dieses Konzeptes für die Entsorgung sind:

- Zwischenlagerung der verbrauchten Brennelemente
- Wiederaufarbeitung der verbrauchten Brennelemente, d. h. Auflösen in Säure und anschliessend chemisches Abtrennen von Uran, Plutonium und Spaltprodukten
- Verarbeitung von Uran und Plutonium, d. h. Herstellung neuer Brennelemente
- Konditionierung der radioaktiven Abfälle, d. h. Verarbeitung zu festen, chemisch und physikalisch stabilen, endlagerfähigen Produkten, z. B. Glas für hochaktive Abfälle
- Endlagerung der Abfälle

Dieses Entsorgungskonzept reduziert durch die Rezyklierung des Plutoniums und Urans die zur Endlagerung kommende Menge an langlebiger Radioaktivität auf ein Minimum und stellt gleichzeitig eine Isolierung dieser Abfälle von der Biosphäre sicher. Ausserdem bewirkt dieses Konzept, dass der grösste Teil des im Brennstoffkreislauf enthaltenen und gegen Missbrauch zu sichernden Plutoniums in unzugänglicher Form im Reaktor vorliegt. Auch wird durch die Wiederverwendung des Urans und Plutoniums die Ausnutzung der Uranrohstoffe geschont. Schliesslich ist dieser Brennstoffkreislauf die Voraussetzung für die Nutzung des Schnellen Brütters, der Plutonium benötigt.

Der praktisch geschlossene Brennstoffkreislauf gemäss dem oben skizzierten Konzept (nicht verbrauchter Brennstoff wird rückgeführt, und nur die eigentlichen Abfälle verlassen den Kreislauf) ist zurzeit in Frankreich industriell realisiert und steht in England vor der Realisierung. In einigen weiteren Ländern ist er das erklärte Ziel der Elektrizitätswirtschaft.

3. Die Teilschritte der Entsorgung

Die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente erfolgt üblicherweise unter Wasser, wobei das Wasser sowohl der

Strahlenabschirmung wie auch der Kühlung dient. Diese Technik wird seit Jahrzehnten problemlos praktiziert. Diese Unterwasserlagerung wird heute bei allen Kernkraftwerken vorgenommen und ausserdem auch in den Eingangslagerbecken der Wiederaufarbeitungsanlagen, z. B. in La Hague in Frankreich oder in der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe in der BRD.

Ein solches Nasslagerbecken wird praktisch immer mit einer Zwangskühlung ausgerüstet, könnte aber – wenn man mindestens ein Jahr Kühlzeit der Brennelemente voraussetzt – mit passiven Kühleinrichtungen, d. h. als inhärent sicheres System betrieben werden. Der Grund dafür ist die viel kleinere Leistung: Im Reaktorbetrieb erbringt ein Brennelement etwa 15 MW, im Nasslagerbecken nach einem Jahr Kühlzeit noch etwa 5 kW.

Alternativ kann man für Eingangslagerbecken von Wiederaufarbeitungsanlagen bzw. für zentrale Zwischenlager von dieser Unterwassertechnik abgehen und die Brennelemente direkt in (Transport-)Behältern lagern. Diese Behälter bewirken die Strahlenabschirmung, werden durch Luftkonvektion gekühlt und sind gegen Einwirkung von aussen, wie z. B. Flugzeugabsturz, ausgelegt.

Zur Wiederaufarbeitung (Fig. 2) werden die Brennelemente (BE) zerkleinert und der Brennstoff mit Salpetersäure aus den Hüllrohrabschnitten herausgelöst. Dabei bleiben die Hüllen und etwas unlöslicher Schlamm als Abfall im Auflöser zurück. Gasförmige radioaktive Spaltprodukte, die beim Auflösen des Brennstoffs frei werden, werden zurückbehalten und als radioaktiver Abfall behandelt.

Die salpetersaure Lösung wird einem chemischen Extraktionsverfahren (mit Tributylphosphat = TBP) unterzogen, und zwar in mehreren Stufen (Extraktionszyklen). Dabei werden die Spaltprodukte (verunreinigt mit einer geringen Menge Transurane) von Uran und Plutonium sowie diese voneinander getrennt. Uran und Plutonium sind die wiederverwertbaren Produkte der Wiederaufarbeitung. Die radioaktiven Abfälle fallen hauptsächlich in flüssiger Form an, und zwar pro Tonne Brennstoff etwa 500 Liter hochaktive, selbsterhitzende Lösung und einige Kubikmeter mittel- und schwachaktive Lösung. Dieses Verfahren wird in mehreren Ländern industriell (Frankreich, England) bzw. in kleineren Anlagen halbindustriell mit Erfolg angewendet.

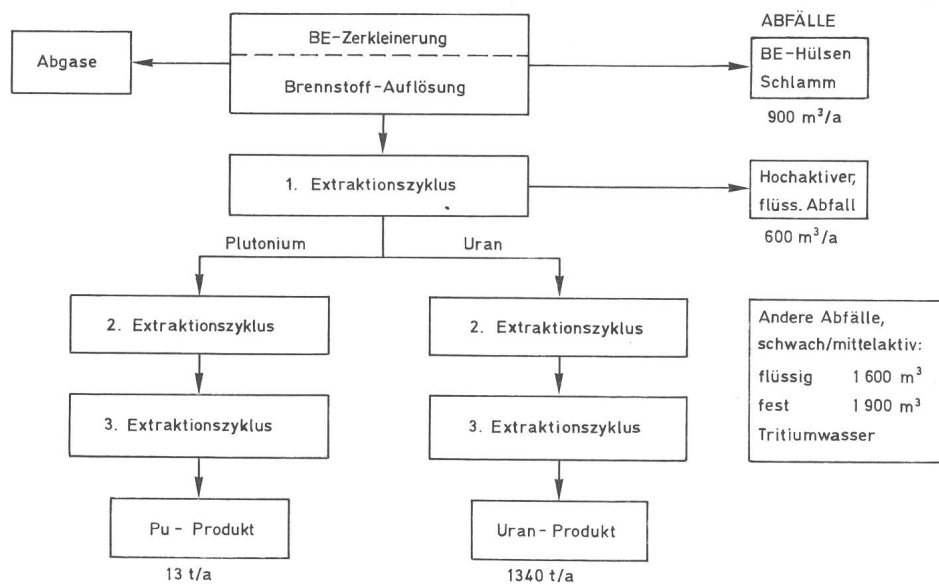


Fig. 2
Schema der Wiederaufarbeitung
Angenommene Jahreskapazität
1400 Tonnen Uran

Die Verarbeitung von Uran und Plutonium zu Misch-oxidbrennelementen, auch Plutoniumbrennelemente genannt, wird ebenfalls seit fast 20 Jahren demonstriert. Bei dieser *Brennelementfabrikation* entstehen plutoniumhaltige Abfälle, für die ähnliche Sicherheitsmassstäbe gelten wie für die hochaktiven Abfälle.

Die *Konditionierung* der radioaktiven Abfälle besteht im wesentlichen darin, die radioaktiven Lösungen in eine feste, chemisch stabile und endlagergerechte Form zu überführen. Die Anforderungen an diese Endlagerform richtet sich vor allem nach der Konzentration und Lebensdauer der radioaktiven Stoffe. Für die hochaktiven Abfälle wird Glas als Endlagerform gewählt, wobei die radioaktiven Nuklide chemische Bestandteile des Glases werden. Pro Tonne wiederaufgearbeiteter Brennstoff werden etwa 130 Liter verglaste hochaktive Abfälle produziert, eine sehr kleine Menge also, wenn auch mit hoher Radioaktivität.

Die Verglasung des hochaktiven Abfalls wird seit Jahren in Frankreich in industriellem Massstab durchgeführt. Die BRD errichtet bei den Wiederaufarbeitungsanlagen in Mol (Belgien) und in Karlsruhe ebenfalls industrielle Demonstrationsanlagen zur Abfallverglasung. Für andere Abfallsorten sind andere Verfahren geeigneter, z. B. Einbinden in Zement oder Bitumen. Die Zementierung wird schon seit vielen Jahren praktiziert.

Die *Endlagerung* der Abfälle wird in hierfür geeigneten Lagern erfolgen. Zur Erkundung von geeigneten Endlagerformationen (Steinsalzen, Granite, Tone u. a.) werden in allen Ländern, die die Kernenergie gezielt nutzen, grosse Anstrengungen unternommen. An der Eignung solcher geologischer Formationen für die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle, also der Abfälle, die keine nennenswerte Wärme entwickeln, bestehen in Fachkreisen kaum Zweifel. Spezielle Anforderungen müssen an ein Endlager gestellt werden, in dem hochaktive Abfälle, die Wärme produzieren, gelagert werden sollen. Hierzu bedarf es noch weiterer, insbesondere geologischer Untersuchungen.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, der weit verbreiteten Meinung entgegenzutreten, dass die Realisierung

eines geologischen Endlagers für die hochaktiven Abfälle vordringlich sei. Dem ist nicht so. Die verglasten hochaktiven Abfälle können nämlich ebenso wie die bestrahlten Brennelemente selbst ohne zusätzliches Risiko einige Jahrzehnte oberirdisch gelagert werden. Es bleibt somit genügend Zeit, geologische Formationen zu erkunden.

Die schwach- und mittelaktiven Abfälle sind wegen ihres viel grösseren Volumens – verglichen mit dem Glasabfall eine mehrfache Menge – weniger für eine längere oberirdische Lagerung geeignet. Die Endlagerung solcher Abfälle ist z. B. in der BRD durch ein Versuchslager im ehemaligen Salzbergwerk Asse bereits seit vielen Jahren demonstriert worden. Auch andere Gesteinsformationen und die gebunkerte Einlagerung knapp unter der Erdoberfläche sind in weiteren anderen Ländern untersucht worden und erprobt.

Insgesamt sind also für alle Teilschritte der Entsorgung die technischen Lösungen vorhanden und zum grossen Teil mit Erfahrungen aus Demonstrations- und industriellen Anlagen untermauert. Die noch verbleibenden Aufgaben liegen insbesondere bei der eigentlichen Endlagerung. Bei der Wiederaufarbeitung und Konditionierung der Abfälle sind gezielt einzelne Prozessschritte zu verbessern und zu optimieren, um insbesondere die Plutoniumkonzentrationen in den verschiedenen Abfallkategorien noch weiter zu verringern, z. B. durch Verfahren zur Plutonium-Rückgewinnung.

4. Die Kosten der nuklearen Entsorgung

Die Kosten für die gesamte Entsorgung eines Kernkraftwerkes in der Schweiz sind mit 1–1,5 Rappen heutigem Geldwert pro Kilowattstunde anzusetzen. Hierin sind die Kosten für alle Teilbereiche der Entsorgung enthalten, einschliesslich der Abbruchkosten des Kernkraftwerkes, also: Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente; Konditionierung aller Abfälle, die beim Betrieb oder Abbruch eines Kernkraftwerkes bzw. bei der Wiederaufarbei-

tung der Brennelemente anfallen; Vorbereitung, Bau und Betrieb der Zwischen- und Endlager für die radioaktiven Abfälle sowie alle Transporte.

Demgegenüber würde eine hundertprozentige Rauchgasentschwefelung von Kohlekraftwerken – laut Berechnungen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke [1] – 2–3 Pfennig pro kWh kosten, je nachdem, ob es sich um ein modernes oder älteres Werk handelt.

Somit darf festgestellt werden: Die Kosten der nuklearen Entsorgung sind – gemessen an den gesamten Stromgestehungskosten wie auch gemessen an den Umweltschutzkosten anderer Kraftwerke – vertretbar. Aufgrund solcher Vergleiche sind diese Entsorgungskosten von Kernkraftwerken akzeptabel.

5. Perspektiven der Entsorgung in der Schweiz

Bis Anfang der neunziger Jahre ist die Entsorgung der schweizerischen Kernkraftwerke durch Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente in den Kompaktlagerbänken bei den Werken und durch Wiederaufarbeitungsverträge gesichert. Durch Ausübung von Optionen laut diesen Verträgen könnte diese komfortable Entsorgungssituation sicherlich weiter in die Zukunft erstreckt werden.

Ein alternativer Schritt in späteren Jahren wäre eine längerdauernde Lagerung, nass oder trocken, der abgebrannten Brennelemente in regionalen Zwischenlagern, die nicht mit Kernkraftwerken verbunden sind. Die erforderlichen

bescheidenen Kapazitäten sind anhand der Faustregel, dass ein 1000-MWe-Kernkraftwerk pro Jahr etwa 25 Tonnen verbrauchte Brennelemente ausladen muss, leicht nachzurechnen.

Die Abfallmengen, die laufend beim Betrieb der Kernkraftwerke anfallen, werden dort zwischengelagert und heute teilweise durch Meerversenkungsaktionen reduziert. Es ist Aufgabe der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), für diese schwach- und mittelaktiven Abfälle rechtzeitig ein Endlager zur Verfügung zu stellen.

Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden allenfalls in den 90er Jahren in die Schweiz zurückgeschickt. Die schwach- und mittelaktiven Abfälle hierunter können dann gemeinsam mit den Betriebsabfällen in das hierfür vorgesehene Endlager eingelagert werden. Die hochaktiven Abfälle werden zunächst zwischengelagert und erst später, nach Bereitstellung eines entsprechenden Lagers für hochaktive Abfälle, endgelagert.

Literatur

[1] Kernpunkte der SVA, Nr. 13/1.6.1982

Adresse des Autors

G. Hauser, c/o Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Postfach, 5401 Baden.