

Luftreinhaltung durch CO₂-freie Energieerzeugung – ein notwendiger Beitrag zum Klimaziel der deutschen Regierung, die CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2020 (gegenüber 1990) um 40% zu mindern (Kyoto-Protokoll von 1997 und Zusatzserklärungen)



Kernkraftwerk:	Gundremmingen, Landkreis Günzburg/Donau, größtes deutsches Kernkraftwerk
Leistung:	2 Blöcke à 1.344 MW _{el}
Reaktoren:	2 x 3.840 MW _{th}
Typ:	Siedewasser, Lizenz AEG/General Electric
Brennstoff:	Uran- und Mischoxid-(MOX-)Brennelemente
Turbinen:	2 Sätze mit je 1 Hochdruck- + 2 Niederdruck-Gehäusen und je 2 HD- und 3 ND-Dampfentnahmen
Generatoren:	2 Drehstromgeneratoren, 4-polig, je 1.640 MVA, cos ϕ = 0,85
Kühltürme:	2 Stück à 160 m Höhe
Erbauer:	Kraftwerksunion, KWU (enstanden 1969 aus Kernkraftbereichen von AEG und Siemens, später KWU/Siemens, dann Framatom NP, Areva)
Inbetriebnahme:	1984
Stromerzeugung:	21 TWh (21 Mrd. kWh) p.a. durch beide Blöcke zusammen (entspr. rd. 30 % des bayerischen Strombedarfs)
Betreiber:	RWE 75 % und E.ON 25 %

Transmutation radioaktiver Reststoffe aus Kernkraftwerken – ein Beitrag zur Verringerung der Endlagerproblematik

Dr.-Ing. Manfred Mach

Technische Universität Berlin
Institut für Technologie und Management

RHOMBOS-VERLAG, BERLIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

Herausgeber: D&D Switzerland GmbH, Bern

Mitwirkung bei

Kapitel 11: Dr.med. Daniela Mach

Bildnachweis: Titel: Fotolia_45125974_Subscription_Monthly_XXL

Mitwirkung bei

der Gestaltung: Dipl.-Ing. Friedrich Fries-Henrich

Verlag:

RHOMBOS-VERLAG

Kurfürstenstraße 15/16, 10785 Berlin

E-Mail: verlag@rhombos.de

Homepage: <http://www.rhombos.de> VK-Nr. 13597

Druck: PRINT GROUP GmbH, Stettin, Polen

© 2015 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-944101-94-1

*Meinen fünf Kindern, **Annette, Berthold, Christian, Daniela und Eberhard**
sowie meinen Enkeln, auf daß sie und deren Nachkommen eine
strahlende – aber nicht übermäßig verstrahlte – Zukunft haben mögen.
Hierzu leistet die im Folgenden beschriebene „Transmutation“ einen
innovativen Beitrag.*

Inhalt

Vorwort	9
1. Was ist und wem dient Transmutation?	11
2. Kernenergieerzeugung in Deutschland	13
3. Energiedichte der Brennstoffe	15
4. Reichweite der Energierohstoffe	18
5. CO ₂ -Emissionen verschiedener Energieträger	19
6. Kernreakortypen in Deutschland	20
7. Kosten der deutschen Stromerzeugungsanlagen	23
8. Verbreitung der Kernkraftwerke (Welt)	27
9. Reststoffe der Kernstromerzeugung	29
10. Strahlenarten durch Kernspaltung	32
11. Strahlenwirkung auf den Menschen	34
12. Der Kernbrennstoffkreislauf	39
13. Direkte Endlagerung radioaktiver Reststoffe	42
14. Restrisiko der direkten Endlagerung	45
15. Partitioning (Abtrennung) der Actinoide	47
16. Transmutation (Umwandlung) der Actinoide	50
17. Zusammenfassung	54
Abbildungen	58
Literatur	60
Der Autor	62
Veröffentlichungen	63

Vorwort

Diese Schrift gibt einen Überblick über die Kernenergieerzeugung in Deutschland, ihre Vorteile gegenüber allen anderen Arten der Stromerzeugung hinsichtlich der Energiedichte, Reichweite der Rohstoffe, CO₂-Emissionen und der internen und externen Gestehungskosten, d.h., der Gesamtkosten.

Sie behandelt aber auch die verfahrenstechnisch und geologisch problematische Seite der Kernstromerzeugung, nämlich die sichere Verbringung ihrer radioaktiven Reststoffe aus der Biosphäre, was in Deutschland derzeit politisch sehr kontrovers diskutiert wird.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge habe ich diese Abhandlung für Studenten ingenieur- und wirtschaftswissenschaftlicher Studiengänge geschrieben, einschließlich der Studenten meiner Vorlesung „Projektmanagement im Maschinen- und Anlagenbau“ an der Technischen Universität Berlin, wozu naturgemäß der Großanlagenbau und Kraftwerke gehören.

Sie richtet sich aber auch an Stromerzeuger, interessierte Stromverbraucher und an die Verantwortlichen für Energie- und Umweltpolitik, letztere besonders hinsichtlich ihrer Entscheidungen, wie weit eine in Deutschland entwickelte und bewährte Technik im Lande verbleibt oder im Ausland weiter betrieben wird. Diese Betrachtungsweise gilt übrigens nicht nur für die deutsche Kernenergie, sondern für alle Innovationen.

Bei der Abwägung aller Chancen und Risiken einer Technologie muß der gesamte Kreislauf, im Falle der Kernkraftwerke der gesamte Brennstoffkreislauf, betrachtet werden. Die Vorstufe einschließlich Uranaufbereitung und Brennstoffherstellung sowie der eigentliche Prozeß im und um den Kernreaktor mit aller

erdenklichen Sicherheitstechnik sind in vielen Publikationen dokumentiert. Für das Ende der Kette, nämlich die Behandlung der radioaktiven Reststoffe, gibt es, außer der intensiven geologischen Untersuchung der untertägigen Lagerstätten, keine schlüssige Lösung, die von der Politik, und was noch viel wichtiger ist, von den Verbrauchern akzeptiert worden ist. Insbesondere gibt es noch nicht genügend Untersuchungen über mögliche Alternativen, mit denen man die Vorbehalte der Bevölkerung gegenüber der ins Auge gefaßten Endlagerung der Abfallstoffe mit ihren langen Halbwertszeiten von über 100.000 bis 1 Million Jahren entkräften kann.

Diese Schrift soll den Interessierten dazu anhalten, den gesamten Brennstoffkreislauf zu betrachten, um dann gezielt diejenigen Abschnitte zu untersuchen, in denen Verbesserungen anzubringen sind, um die Akzeptanz des – an sich technisch und ökonomisch attraktiven, aber auch anspruchsvollen – Systems der Kernenergieerzeugung für die Nutzer und politischen Entscheider herbeizuführen.

Die derzeitige Schwachstelle in dem System stellt nun einmal die Reststoffbehandlung dar. Deshalb wird die „Transmutation“ der bei der Kernspaltung anfallenden Reststoffe, über die es noch wenige Veröffentlichungen gibt, in dieser Schrift schwerpunktmäßig behandelt, weil sie einen Ausweg bietet, die politisch festgefahrenen Standpunkte über das „am besten geeignete“ oder das „überhaupt allerbeste“ Endlager einem Kompromiß zuzuführen.

1. Was ist und wem dient Transmutation?

Neben den formalen Gesetzmäßigkeiten des Gregor Mendel (1822-1884) gibt es in der Genetik auch Mutationen, d.h. die Veränderung einer Nukleinsäuresequenz, z.B. durch chemische Reaktion, und die daraus folgende fehlerhafte Proteinsynthese.

Um ähnliche Veränderungen handelt es sich bei den radioaktiven Nukleinen, die bei der Kernspaltung anfallen, wenn sich bestimmte Gesetzmäßigkeiten aus dem Spaltprozess, wie z.B. die Halbwertszeit, ändern oder geändert werden, in der Kerntechnik „Transmutation“ (Umwandlung) genannt. Diese geschieht in speziellen Reaktoren, in denen die langlebigen Radionuklide durch Neutronenreaktionen in stabile Spaltprodukte oder solche mit kurzer Halbwertszeit umgewandelt werden.

Vor einer möglichen Transmutation müssen die Radionuklide jedoch von dem abgebrannten Kernbrennstoff getrennt werden, und zwar in einem mehrstufigen hydrometallurgischen Verfahren mit Rezirkulierung, in der Kerntechnik „Partitioning“ (Abtrennung) genannt.

Partitioning und Transmutation gehören also zusammen.

Die Radionuklide mit langer Halbwertszeit und hoher Radiotoxizität, für die eine derartige Veränderung geboten ist, sind

- Transurane, allen voran Plutonium, aber auch die Minoren Actinoide (Neptunium, Americium, Curium) sowie die
- Spaltprodukte, vornehmlich Jod, Technetium, Cäsium.

Die Halbwertszeiten dieser Elemente reichen von 24.000 Jahren (^{239}Pu) bis 16 Mio. Jahren (^{129}J). Für Geologen ist dies keine lange Zeit. Für die meisten Menschen aber ist es angesichts ihrer eigenen Lebensspanne – selbst unter Einbezug der Generation ihrer Kinder, Enkel und Urenkel – jenseits der Vorstel-

lung. Viele glauben nicht an die Langzeitsicherheit der unter Tage gelagerten „strahlenden“ Reststoffe, selbst, wenn sie in Glaskokillen eingegossen sind und die Wärmeabfuhr in einem umgebenden Salzstock gesichert ist.

Diese Haltung wird erzeugt oder verstärkt durch die deutschen Gegner von Kernkraft und Endlager, die aber andererseits nichts dagegen haben, daß das Bundesumweltministerium den Kernkraftwerken oberirdische Zwischenlager auf dem Kraftwerksgelände für ihre abgebrannten Kernbrennstäbe genehmigt hat, die sich zwar in strahlungssicheren Behältern befinden, die ihrerseits aber in einer nur einfachen Lagerhalle ohne Schutz gegen Flugzeugabstürze oder Terrorangriffe liegen.

Im übrigen gibt es in Deutschland darüber hinaus rund 7.800 ungeschützte Großobjekte, von Kernforschungsreaktoren, radiomedizinischen Instituten, hochgiftigen Chemiewerken für wichtige Grundstoffe bis zu Fußballstadien und Kirchentagen, die allesamt nicht geschützt sind.

Das Ziel von P und T ist die Reduzierung der Halbwertszeit der endzulagernden Reste der abgebrannten Kernbrennstäbe und der anderen radioaktiven Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken, um von den „geologischen“ Zeiträumen von 100.000 und mehr Jahren auf „historische“ Zeiträume von einigen 100 Jahren und weniger zu kommen, die für die heutige Generation noch begreiflich sind. Auch soll von dieser Seite her die Akzeptanz der bekanntlich CO₂-freien, billigen und stets verfügbaren Kernenergie in der deutschen Bevölkerung verbessert werden.