

# Was bedeutet Transmutation ?

von Andreas Kronenberg (email: kronenberg@kernenergie-basiswissen.de)



## Hier die Fakten (vereinfachte Kurzfassung)

Bei der Stromerzeugung aus Kernenergie fallen jährlich in einem großen Kernkraftwerk hochaktive langlebige Abfälle im Umfang eines Würfels von 4 Metern Kantenlänge an (einschließlich Lagerbehälter). Die radioaktiven Stoffe müssen etwa 100.000 Jahre von der Biosphäre ferngehalten werden, damit gewährleistet ist, daß für unsere Nachkommen keine unzutragliche Strahlenbelastung entsteht. Das kann durch Endlagerung des „Atommülls“ in mehreren hundert Metern Tiefe, also unterhalb des Grundwasserspiegels, in einem bisher nicht für die Salzgewinnung erschlossenen („unverritzten“) norddeutschen Salzstock, z. B. Gorleben, sichergestellt werden. Zu dieser Aussage sehen sich die Geologen auf Grund der erdgeschichtlichen Erkenntnisse in der Lage.

Für Geologen sind 100.000 Jahre keine lange Zeit. Eine Million Jahre entsprechen bei ihnen einem Jahr eines Historikers. Doch für die meisten Menschen ist das unvorstellbar lang. Sie glauben daher nicht an die „Langzeit-Sicherheit“ solcher Endlager. Niemand kann zudem eine absolute Garantie geben. Das Risiko völlig unvorhersehbarer Entwicklungen ist zwar extrem gering, aber nicht null. Deswegen werden Möglichkeiten erforscht, langlebige radioaktive Stoffe in solche mit kürzerer Halbwertszeit zu verwandeln („Transmutation“). Prinzipiell ist das möglich, wenn es in der Praxis gelänge, bräuchten nukleare Endlager nur wesentlich kürzere Zeiten dicht zu bleiben.

Die Alchimisten des Mittelalters verstanden unter der Transmutation (Lateinisch: *Umwandlung*) die erhoffte Herstellung von Gold aus unedlen Metallen. Wie wir heute wissen, ist dieses auf chemischem Wege nicht möglich.

Eine Umwandlung von Uran in andere chemische Elemente findet bei der Energieerzeugung im Kernkraftwerken statt. Die dabei entstehenden Stoffe sind radioaktiver Abfall. Dessen Radioaktivität fällt zwar bereits nach 24 Stunden auf rund ein Zehntel des Ausgangsniveaus ab. Aber der Rest macht "Ärger", weil langlebige Komponenten übrig bleiben. Diese sind z. T. über viele Jahrtausende so radioaktiv, dass sie in ein Endlager müssen.

Hier setzt der Gedanke der Transmutation an: Werden nämlich die langlebigen Komponenten gezielt aus dem Atommüll herausgeholt und wiederum Kernumwandlungsprozessen unterzogen, lassen sie sich in kurzlebige sowie einen Rest langlebiger radioaktiver Stoffe umwandeln. Dieser Vorgang kann wiederholt werden, bis praktisch keine langlebigen radioaktiven Komponenten mehr vorhanden sind. Somit könnte die Zeit der kontrollierten Endlagerung verringert werden.

Die hierfür erforderlichen Prozesse sind im Prinzip bekannt. Die Probleme liegen hauptsächlich bei der technischen und wirtschaftlichen Umsetzung. International hat die Forschung und Entwicklung hierzu begonnen.

## Hier die Fakten (fachspezifische Langfassung):

Jedes Jahr wird rd. ein Drittel des deutschen Strombedarfs (150 – 170 Milliarden kWh) in Kernkraftwerken erzeugt, wobei rd. 4000 kg Plutonium, 260 kg Neptunium, 270 kg Americium und 40 kg Curium sowie 19 Tonnen Spaltprodukte (vorrangig Technetium-99 und Iod-129) anfallen. (siehe Tabelle 1 und 2)

Nuklide	kg/Jahr	Halbwertszeit / in Jahren
Pu-238	4.52	88
Pu-239	166	$2.4 \times 10^4$
Pu-240	76.7	$6.6 \times 10^3$
Pu-241	25.4	14.4
Pu-242	15.5	$3.8 \times 10^5$
Np-237	14.5	$2.1 \times 10^6$
Am-241	16.6	432
Am-242m	0.022	141
Am-243	2.99	$7.4 \times 10^3$
Cm-243	0.011	28.5
Cm-244	0.58	18.1

Tabelle 1: Diese Mengen an Actinidenelementen (berechnet nach 10 Jahren Lagerung und einem typischen Abbrand von 33'000 MWTagen per Tonne Uran) werden jährlich von einem typischen Druckwasserreaktor bei 3.0 GW produziert.

Nuklide	kg/Jahr	Halbwertszeit / in Jahren
Se-79	0.17	$6.5 \times 10^4$
<b>Kr-85</b>	0.4	10.7
Sr-90	13.1	28.8
Zr-93	22.7	$1.5 \times 10^6$
Tc-99	24.6	$2.1 \times 10^5$
<b>Pd-107</b>	7.2	$6.5 \times 10^6$
Sn-126	0.9	$1 \times 10^5$
I-129	5.69	$1.6 \times 10^7$
<b>Cs-135</b>	9.4	$3 \times 10^6$
Cs-137	31.8	30
<b>Sm-151</b>	0.4	90

Tabelle 2: Diese Mengen an Spaltprodukten (berechnet nach 10 Jahre Lagerung und einem typischen Abbrand von 33'000 MWTagen per

Tonne Uran) werden jährlich von einem typischen Druckwasserreaktor bei 3 GW produziert. Die rot hervorgehobenen Nuklide eignen sich nicht für die Transmutation, bspw. wegen zu geringer Einfangquerschnitte für Neutronen.

## Verringerung radioaktiver Abfälle

Die Idee der Umwandlung dieser langlebigen, zum Teil radiotoxischen Nuklide durch Neutronenbestrahlung in kürzerlebige ist nicht neu. Dazu wäre es auch möglich die Nuklide in einen normalen Kernreaktor unterzubringen und dort mit Neutronen zu bestrahlen.

Die neue Idee von C. D. Bowman vom [Los Alamos National Laboratory](#), die er 1992 in einer sehr ausführlichen Arbeit (in "Nuclear Instruments and Methods in Physics Research" A320 (1992) Seiten 336-367) veröffentlichte, und die dann von Carlo Rubbia – Physik-Nobelpreisträger 1984 – vom Europäischen Zentrum für Teilchenphysik in Genf (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, [CERN](#)) aufgegriffen und vorangetrieben wird, erzeugt die Neutronen durch Spallation (engl.: absplitteln, zertrümmern). Beim Vorgang der Spallation, werden bspw. Protonen mit Hilfe eines Teilchenbeschleunigers beschleunigt. Treffen diese auf ein massives Ziel (engl.: Target), so schlagen sie eine große Anzahl von Neutronen aus den Atomkernen der Atome des Targets heraus.

Die umzuwandelnden Nuklide würden dann um dieses Target angeordnet, damit die Neutronen mit ihnen reagieren können. Die Nuklide im Abfall reagieren mit den Neutronen und bilden immer kürzerlebige

Nuklide. Für diese wird dann die sicherzustellen-zeit wesentlicher geringer. Der große Vorteil wäre, daß dieses System aus sich heraus sicher ist, da nämlich, sobald der Beschleuniger abgeschaltet würde, die Neutronenstrahlung aussetzen würde. Es entsteht, anders als bei Kernkraftwerken, keine Nachzerfallswärme. Solche Beschleuniger arbeiten nur mit absolutem Vakuum und exakter Bündelung des Strahls. Geringste Störungen würden zu einem sofortigen Ausfall des Teilchenbeschleunigers führen. Daher würde sich die Anlage in einem derartigen Fall selbstständig abschalten. Das wirtschaftliche Interesse für solche Anlagen wird daraus erweckt, daß sich darüber hinaus noch Energie aus diesen Systemen abziehen läßt, die größer ist, als die hineingesteckte Energiemenge für den Beschleuniger.

### Wo steht die Forschung?

Die wissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet wird vor allem von der CEA ([Commissariat à l'énergie atomique](#)) in Frankreich und in den USA vorangetrieben. Deutschland ist nur wenig und mit sehr kleinen Arbeitsgruppen vom [Forschungszentrum Jülich](#) und vom [Forschungszentrum Karlsruhe](#) daran beteiligt. Mit der Forschung stehen wir ganz am Anfang. Selbst so einfache Dinge, wie die Bestimmung der Umsetzungsraten (Wirkungsquerschnitte, engl.: cross section) bei diesen Neutronenenergien müssen erst in Experimenten der Grundlagenforschung bestimmt werden.

### Kommentar

Bei aller Euphorie, damit den radioaktiven Abfall verringern zu können, muß man sich gewisse grundlegende Dinge vor Augen halten.

1. Das Target, welches mit sehr hohen (fast relativistischen) Energien an Protonen bestrahlt wird, wird sehr heiß. Die dabei entstehende Schmelze muß gehandhabt werden. Ein schwieriges ingenieurtechnisches Vorhaben scheint mir zu sein, diese Schmelze gegen das Beschleunigervakuum abzuschirmen.
2. Kernphysikalische Umwandlungsreaktionen haben einen sehr kleinem Stoffumsatz. Das heißt, daß die zu bestrahlenden Nuklide ständig, möglichst kontinuierlich aus dem Reaktor entfernt werden müssen. Die umgesetzten Stoffe müssen dort von den nicht umgesetzten Stoffen durch chem. Trennverfahren abgetrennt werden. Die nicht umgesetzten Stoffe müssen sodann wieder in den Reaktor gegeben werden. Und so fort. Diese Verfahrensschritte werden noch viel umfassender sein müssen, als bei den heute üblichen Wiederaufarbeitungsanlagen für abgebrannte Kernbrennstoffe. Ganz neue chemische Verfahren sind notwendig und die Anlagen, die dann technisch eingesetzt werden müssen, werden sehr groß und sehr kompliziert.

Weitere Informationen zum Thema Transmutation finden Sie auf dem Server der [Nuclear Energy Agency](#) (NEA) der OECD.