

1 5.4.2. Transmutation - **ENTWURF 12.02.2016**

2
3 Die Kommission hat das Verfahren der Transmutation als ein Thema identifiziert, das hinsichtlich seiner Relevanz für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe einer weiteren
4 Beobachtung bedarf, und hat zu den mit der Transmutation verbundenen Fragestellungen
5 zwei Gutachten eingeholt¹.

6
7 Transmutation zielt darauf ab, die beim Betrieb von Kernreaktoren entstehenden langlebigen
8 Nuklide der Elemente Plutonium, Neptunium, Americium und Curium (sogenannte Transurane)
9 nach vorheriger Abtrennung (Partitionierung) in stabile oder kurzlebige Nuklide umzu-
10 wandeln. Die Transmutation der im abgebrannten Brennstoff ebenfalls vorhandenen langlebigen
11 Spalt- und Aktivierungsprodukte wird in der Forschung hingegen praktisch nicht verfolgt.
12 In diesem Zusammenhang erscheint auch eine weitere Behandlung der bereits verglasten
13 Wiederaufarbeitungsabfälle durch Transmutation nach heutigem Stand von Wissenschaft und
14 Technik nicht sinnvoll. Für Brennelemente aus Forschungs- und Prototypreaktoren sind die
15 heute diskutierten Verfahren ebenfalls nicht anwendbar, so dass sich die Anwendung des Ver-
16 fahrens nur auf die Brennelemente aus Leistungsreaktoren bezieht. Zu berücksichtigen ist,
17 dass die Transmutation keine Entsorgungsoption zum langfristigen Umgang mit hoch radio-
18 aktiven Abfällen darstellt, da auch bei optimistischen Annahmen hoch radioaktive Abfälle
19 verbleiben, die einer Endlagerung, bedürfen.

20
21 5.4.2.1 Technologisches Gesamtsystem und technischer Entwicklungsstand

22
23 Die Umsetzung von "Partitionierung und Transmutation" (oder kurz "P&T") beinhaltet im
24 Wesentlichen drei Schritte: Abtrennung (Partitionierung), Brennstofffertigung und Umwand-
25 lung (Transmutation).

26
27 Bei der Partitionierung (P) werden die abgebrannten Brennelemente in einer Wiederaufbe-
28 reitungsanlage chemisch aufgelöst und die enthaltenen radioaktiven Stoffe in verschiedenen
29 Prozessschritten in mehrere Produktströme separiert. Dabei sind für die Abtrennung der Tran-
30 surane zwei Verfahren zu unterscheiden. Aus der Wiederaufarbeitung stammt das für die Ab-
31 trennung von Uran und Plutonium aus abgebrannten Uranoxid-Brennelementen entwickelte
32 hydrometallurgische PUREX-Verfahren. Um hiermit zukünftig auch die sog. Minoren Akti-
33 niden (Neptunium, Americium, Curium) abtrennen zu können, ist eine erhebliche technische
34 Weiterentwicklung erforderlich. Bisherige Versuche befinden sich noch Labormaßstab. Ob
35 eine großtechnische Umsetzung mit den erforderlichen Wiedergewinnungsfaktoren im Be-
36 reich von 99,9% gelingt, ist aus heutiger Sicht offen. In einem noch früheren Entwick-
37 lungsstadium befindet sich das Konzept der sog. pyrometallurgischen Verfahren, basierend auf
38 elektrochemischen Methoden bei hohen Temperaturen und unter Ausschluss von Sauerstoff.

39
40 Aus den separierten Transuranen werden im nächsten Schritt frische Brennelemente gefertigt.
41 Auch die Entwicklung von Brennstoffen, die neben Plutonium die Minoren Aktinide enthal-
42 ten, befindet sich noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium – insbesondere für die
43 uranfreien Brennstoffe zum Einsatz in beschleunigergetriebenen Reaktoren (s.u.). Eine Prob-
44 lematik bei Brennelementfertigung, -transport und -handhabung der Transmutations-
45 Brennelemente stellen die hohe Gammastrahlung und die, insbesondere von Curium ausge-
46 hende, Neutronenstrahlung dar. Sie erfordern massive Abschirmungen und fernbediente Han-
47 tierung und führten bereits zu Überlegungen, auf Abtrennung und Transmutation der Curium-
48 isotope zu verzichten. Für die uranfreien Brennstoffe existieren außerdem noch keine Ver-

¹ vgl. Brenk Systemplanung (2015). Gutachten zum Thema „Transmutation“ und Öko-Institut et.al. (2015) Gutachten "Transmutation"

1 fahren zur Abtrennung der Spaltprodukte von der Matrix, so dass über die resultierenden Ab-
2 fallprodukte hinsichtlich Volumen und Eigenschaften derzeit keine Aussagen möglich sind.

3
4 Die frischen Brennelemente werden letztlich in geeigneten Transmutationsreaktoren einge-
5 setzt und dort bestrahlt, um die Transurane zu spalten. Für die Transmutationsreaktoren und
6 deren Brennstoff werden international zwei Konzepte diskutiert. Zum einen sind dies "Schnel-
7 le Reaktoren" mit Mischoxid-Brennstoffen, die eine Weiterentwicklung der Schnellen Brüter
8 darstellen. In Frankreich existiert derzeit ein Konzept für einen Prototypreaktor (sog. AST-
9 RID-Reaktor) als Schneller Brüter mit Optimierung für die Transmutation. Zum anderen wer-
10 den beschleunigergetriebene Reaktoren mit uranfreien Brennstoffen diskutiert, die durch eine
11 externe Neutronenquelle angefahren und gesteuert werden. Solche Anlagen existieren bisher
12 nur als Konzeptstudien. Ein erster beschleunigergetriebener Versuchsreaktor (MYRRHA) soll
13 mit wesentlicher Förderung durch die Europäische Union in Belgien errichtet werden. Dane-
14 ben besteht ein Konzept für einen europäischen Prototypen (sog. EFIT-Reaktor).

15
16 Die Transmutations-Brennelemente müssten nach erfolgter Transmutation zurück zur Partiti-
17 onierung geführt werden, um den Zyklus erneut zu durchlaufen. Da in jedem Durchlauf nur
18 ein Teil der Transurane umgewandelt werden kann, würde sich daraus eine Vielzahl von er-
19 forderlichen Umläufen ergeben. Zwischen den verschiedenen Schritten sind zudem Zwischen-
20 lager und Transporte verschiedener radioaktiver Stoffe erforderlich. Im Ergebnis wären nach
21 wie vor hoch radioaktive sowie erhebliche Mengen schwach- und mittelradioaktive (Sekun-
22 där-)Abfälle zu entsorgen.

23 24 5.4.2.2 Zeitrahmen und Kosten

25
26 Aufgrund des noch sehr frühen Entwicklungsstadiums erscheinen für die Entwicklung aller
27 notwendigen P&T-Technologien bis zur industriellen Reife aus heutiger Sicht zunächst min-
28 destens vier bis fünf Jahrzehnte erforderlich, ggf. auch deutlich mehr.

29
30 Bezogen auf das in Deutschland nach Beendigung der Kernenergienutzung vorhandene In-
31 ventar abgebrannter Brennelemente und bei einer angestrebten Reduzierung der darin enthal-
32 tenen 140 t Transurane auf 10 % des Ausgangswerts müssten anschließend durchschnittlich
33 zwischen fünf und sieben Transmutations-Reaktoren kontinuierlich über 150 Jahre in Betrieb
34 sein, anfänglich könnten aufgrund der großen Menge an Transuranen auch 16 Reaktoren er-
35 forderlich werden, nach 100 Jahren noch etwa 3 bis 4 Reaktoren. Gesamt-Betriebszeiten unter
36 100 Jahren lassen sich theoretisch nur mit deutlich mehr Reaktoren bzw. höheren Reaktorlei-
37 stungen oder unter der optimistischen Annahme eines höheren Transmutationsanteils pro Zy-
38 lus erreichen. Unterstellt man geringere Reaktorleistungen können sich auch Betriebszeiten
39 von 200 bis 300 Jahren ergeben.

40
41 Über die Kosten eines P&T-Systems sind derzeit nur sehr grobe Abschätzungen mit großen
42 Bandbreiten möglich. Je nach Konzept wären für Forschung und Entwicklung 25 bis 60 Mil-
43 liarden Euro zu veranschlagen, für die Bereitstellung der erforderlichen Anlagen weitere 40
44 bis 350 Milliarden Euro.

45 46 5.4.2.3 Auswirkungen auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland

47
48 Die Einflüsse einer umfassenden P&T-Strategie auf die Endlagerung können derzeit höchst-
49 ens qualitativ benannt werden. So könnten das Volumen, das Radionuklidinventar und die
50 Radiotoxizität der hoch radioaktiven Abfälle reduziert werden. Der Flächenbedarf für ein ent-
51 sprechendes Endlager könnte sich ebenfalls reduzieren, wobei aber das Endlagerkonzept und

1 die Wärmeleistung der Abfälle zum Zeitpunkt der Einlagerung einen größeren Einfluss auf
2 den Flächenbedarf ausüben als der Anteil der transmutierbaren Radionuklide. Um eine nen-
3 nenswerte Reduzierung der Wärmeleistung zu erreichen, müssten die durch P&T entstehen-
4 den Spaltprodukte nach der Transmutation noch etwa 300 Jahre in einem obertägigen Zwi-
5 schenlager abklingen.

6 Der erforderliche Isolationszeitraum für die Endlagerung wird sich nicht verringern, da die
7 potenzielle Dosis, die langfristig aus der Endlagerung resultiert, nicht durch die Transurane
8 sondern durch die für P&T nicht zugänglichen langlebigen Spalt- und Aktivierungsprodukte
9 bestimmt wird. Die Transurane gelten unter Endlagerbedingungen als weitgehend immobil.
10 Die insgesamt vorhandene Spaltproduktmasse würde sich hingegen erhöhen, je nach Trans-
11 mutationskonzept sogar in etwa verdoppeln.

12 Für bestimmte Szenarien des menschlichen Eindringens oder schneller Freisetzungen nach
13 unwahrscheinlichen Entwicklungen kann die durch P&T verringerte Aktivität des endgelager-
14 ten Inventars zur Verringerung potentieller Dosisleistungen führen.

15 Die Menge der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle vergrößert sich durch die bei P&T
16 anfallenden Sekundärabfälle (z.B. Betriebs- und Rückbauabfälle) erheblich um schätzungs-
17 weise 150.000 – 170.000 m³. Im aktuellen Nationalen Entsorgungsprogramm Deutschlands
18 gibt es hierfür keinen Endlagerpfad.

19 Der Zeitpunkt für den Verschluss eines Endlagers für hoch radioaktive Abfälle würde sich
20 deutlich in die Zukunft verschieben, sei es durch eine spätere Inbetriebnahme oder eine länge-
21 re Offenhaltung. Verbunden wäre dies mit sicherheitstechnischen Konsequenzen und Auswir-
22 kungen für die Sicherung.

24 5.4.2.4 Sicherheit und Proliferationsrisiken

26 Die Entwicklung von Transmutationsreaktoren mit gegenüber heutigen Leistungsreaktoren
27 erhöhter Sicherheit stellt eines der Kernziele der aktuellen internationalen Forschungs- und
28 Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet dar. Allerdings weisen Transmutationsreaktoren spe-
29 zifische Störfallrisiken auf, die aus dem speziellen radioaktiven Inventar in den Anlagen, den
30 chemischen und physikalischen Eigenschaften der Transmutationsbrennstoffe sowie den Ei-
31 genschaften der zur Kühlung vorgesehenen Flüssigmetalle resultieren. Ob eine erhöhte Si-
32 cherheit der Transmutationsreaktoren gegenüber heutigen Kernkraftwerken daher tatsächlich
33 erreicht werden kann ist aus heutiger Sicht offen.

34 Aufgrund der höheren Wärmeentwicklung, der hohen Dosisleistung und der Kritikalitätssi-
35 cherheit ergeben sich bei P&T teils deutlich höhere Anforderungen an den Transport und die
36 Zwischenlagerung der radioaktiven Materialien. Im Verhältnis zur eingesetzten Tonne
37 Schwermetall wäre im Vergleich zur heutigen Praxis mit einem Vielfachen an Brennelement-
38 Transporten und Handhabungsschritten zu rechnen, verbunden mit erheblichen Anforderun-
39 gen an den Strahlenschutz insbesondere des Personals.

40 Im Falle der großtechnischen Umsetzung einer P&T-Strategie in Deutschland würde während
41 der Betriebszeit mit einigen Tonnen abgetrennter Transurane jährlich umgegangen werden,
42 von denen insbesondere Plutonium, aber in geringerem Maße auch Neptunium und Americi-
43 um zum Bau von Kernwaffen missbräuchlich verwendet werden könnten. Bei den Anlagen
44 zur Wiederaufarbeitung und Brennstoffherstellung, bei denen diese Stoffe separiert gehand-
45 habt werden, bestünden über mehrere hundert Jahre (s.o.) kontinuierlich hohe Anforderungen
46 an die Spaltmaterialkontrollen, aber auch an die Anlagensicherung. Dem gegenüber steht das
47 Szenario einer Wiedergewinnung kernwaffenfähiger Stoffe aus einem Endlager. Dies erforder-
48 t die Rückholung oder Bergung der Abfälle und die daran anschließende Abtrennung der
49 gewünschten Spaltstoffe. Diese Maßnahmen sind mit erheblichem Aufwand verbunden, dürf-
50 ten für subnationale Akteure undurchführbar sein und würden durch Maßnahmen der Spalt-
51 materialüberwachung detektiert werden.

1 Die Risiken aus der Umsetzung einer P&T-Strategie in einem Zeitraum von ca. 150 – 300
2 Jahren sind gegenüber einer möglichen Reduzierung potenzieller Risiken in der Langzeitsi-
3 cherheit eines geologischen Endlagers abzuwägen.

5.4.2.5 Gesellschaftliche und soziale Randbedingungen für die praktische Umsetzung

7 Die Nutzung einer P&T Strategie erfordert für die kommenden Jahrhunderte stabile staatliche
8 Verhältnisse inklusive einer entsprechenden Infrastruktur für Wissenserhalt, Ausbildung, Be-
9 trieb, Forschung und Entwicklung. Damit würde eine P&T-Strategie die Verantwortung für
10 Behandlung und Endlagerung der hoch radioaktiven Abfälle weitgehend auf die zukünftigen
11 Generationen verlagern.

12 Eine Entscheidung für die Umsetzung von P&T setzt eine entsprechende Akzeptanz der Be-
13 völkerung voraus, die aufgrund der erforderlichen Zeitdauern für die technische Verwirkli-
14 chung auch von zukünftigen Generationen getragen werden müsste. Der heutige gesellschaft-
15 liche Konsens zum Verzicht auf die Kernenergienutzung in Deutschland müsste aufgehoben
16 werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen im Atomgesetz müssten angepasst und unter-
17 geordnete Regelwerke geschaffen werden, um die mit einer P&T-Strategie verbundene groß-
18 technische Plutoniumnutzung in dem oben beschriebenen technologischen Ausmaß zu ermög-
19 lichen. Des Weiteren wäre eine Verständigung bezüglich der Finanzierung erforderlich, so-
20 wohl im Hinblick auf eine zügige Entwicklung als auch auf eine spätere Umsetzung der
21 Technologien. Selbst eine wie auch immer geartete Beteiligung europäischer Partnerländer
22 wäre mit erheblichen politischen, gesellschaftlichen und regulatorischen Anpassungen ver-
23 bunden. Im europäischen Raum werden bisher nur in Frankreich und durch die EURATOM
24 konkrete Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten verfolgt.

5.4.2.6 Fazit

28 Die Kommission ist unter Würdigung der oben beschriebenen Aspekte der Auffassung, dass
29 sich aus der von der Kommission bearbeiteten Endlagerthematik keine Argumente für eine
30 Entwicklung einer Transmutationstechnologie ableiten lassen. Die Kommission sieht in dieser
31 Technologie unter den in Deutschland geltenden Randbedingungen keine Vorteile für die
32 Endlagerung radioaktiver Abfälle. Daher wird aus heutiger Sicht eine aktive Verfolgung einer
33 P&T-Strategie nicht empfohlen.

34 Partitionierung und Transmutation mag nichts desto trotz als Forschungsthema auch weiterhin
35 von Relevanz sein, insbesondere wenn es gilt, über den in wenigen Jahren vollzogen Ausstieg
36 Deutschlands aus der Kernenergienutzung hinaus kerntechnische Kompetenz zu erhalten und
37 die Fähigkeit zur Teilnahme an und zur Beurteilung von internationalen Entwicklungen zu
38 wahren. Vor diesem Hintergrund mag es angebracht sein, die weitere Entwicklung auf diesem
39 Gebiet zu beobachten und den Erhalt der hierfür erforderlichen Kompetenzen angemessen zu
40 fördern. Die hiermit verbundenen übergeordneten Beweggründe sind aber nicht in relevantem
41 Umfang mit der Endlagerfrage verknüpft und liegen insofern außerhalb des Beratungsauftrags
42 der Kommission.

- 1 Verwendete Literatur
- 2 Brenk Systemplanung (2015). Gutachten zum Thema „Transmutation“ im Auftrag der Kom-
- 3 mission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. K-MAT 45
- 4 Öko-Institut e.V., UHH-ZNF (2015). Gutachten "Transmutation" im Auftrag der Kommission
- 5 Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. K-MAT 48
- 6
- 7