

Partitionierung & Transmutation: Wirksamkeit und Folgen für die Endlagerfrage

Gerald Kirchner
Universität Hamburg, ZNF

Gutachten „Transmutation“

Hamburg/Darmstadt

08.12.2015

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Gerald Kirchner, ZNF
gerald.kirchner@uni-hamburg.de

Dr. Matthias Englert, Öko-Institut
m.englert@oeko.de

Dr. Christoph Pistner, Öko-Institut

Beate Kallenbach-Herbert, Öko-Institut

Julia Neles, Öko-Institut

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
K-MAT 48



Inhalt

1. Einleitung: Versprechungen und Perspektiven
2. Partitionierung & Transmutation
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für
wärmeentwickelnde Abfälle
5. Fazit

Inhalt

1. **Einleitung: Versprechungen und Perspektiven**
2. Partitionierung & Transmutation
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle
5. Fazit

WISSEN TRANSMUTATION



14.09.10

Atommüll wird in 20 Jahren nicht mehr strahlen

Forscher haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sie Atommüll unschädlich machen wollen. Damit rauben sie Kernkraft-Gegnern viele Argumente.

0



Empfehlen 3.364

Twittern 82

+1 1

Von Ulli Kulke



MEISTGELESENE ARTIKEL



Währungsturbulenzen
Experten erwarten
dramatische Euro-Schwemme

WISSEN TRANSMUTATION

Atommüll wird in 20 Jahren nicht mehr strahlen

Forscher haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sie Atommüll unschädlich machen. Damit rauben sie Kernkraft-Gegnern viele Argumente.

0 Empfehlen (3.364) Twittern (82) +1 (1)



MEI



Alle Infos zur
Kometen-Mission



Frankfurter Allgemeine
Wissen

Dienstag, 20. Januar 2015

VIDE

Transmutation

Die zauberhafte Entschärfung des Atommülls

Es klingt wie Alchemie für die Kerntechnik: Der Zerfall von Plutonium und anderem hochradioaktiven Abfall wird mittels Neutronen radikal beschleunigt. Ist die Kernumwandlung inzwischen reif für den großen Test?

26.06.2011, von MONIKA ETSPÜLER



WISSEN TRANSMUTATION



14.00.10

FAZJOB.NET LEBENSWEGE SCHULE

FAZ.NET

F.A.Z.-E-PAPER

F.A.S.-E-PAPER

HERAUSGEGEBEN VON WERNER D'INKA, JÜRGEN KAUBE, BERTHOLD KOHLER, I

Alle Infos zur Kometen-Mission



Frankfurter Allgemeine Wissen

Dienstag, 20. Januar 2015

VIDE



Startseite Politik Finanzen Wissen Gesundheit Kultur Panorama Sport Digital

POLITIK WIRTSCHAFT FINANZEN FEUILLETON SPORT GESELLSCHAFT STIL TECHNIK & MOTOR

Mensch Natur Klima Technik Weltraum Tests & Online-Spiele Lexikon Experten

Wissen > Physik & Chemie > Transmutation: Die zauberhafte Entschärfung des Atommülls

FOCUS Magazin | Nr. 45 (2010)

FORSCHUNG UND TECHNIK

Seite 1 / 2 weiter

Licht am Ende des Tunnels

Montag, 08.11.2010, 00:00 - von FOCUS-Redakteur Kurt-Martin Mayer, FOCUS-Redakteur Michael Odenwald und FOCUS-Redakteur Christian Pantle

Teilen 2 Twittern 0 +1 0 17



Wohin mit Atommüll? Während der Eiertanz um ein Endlager andauert, entwickeln Physiker Technologien, mit denen sie die strahlenden Stoffe in harmlose verwandeln

Unter den vielen Auseinandersetzungen um die Kernenergie ging diese Meldung zu

Transmutation

Die zauberhafte Entschärfung des Atommülls

Es klingt wie Alchemie für die Kerntechnik: Der Zerfall von Plutonium und anderem hochradioaktiven Abfall wird mittels Neutronen radikal beschleunigt. Ist die Kernumwandlung inzwischen reif für den großen Test?

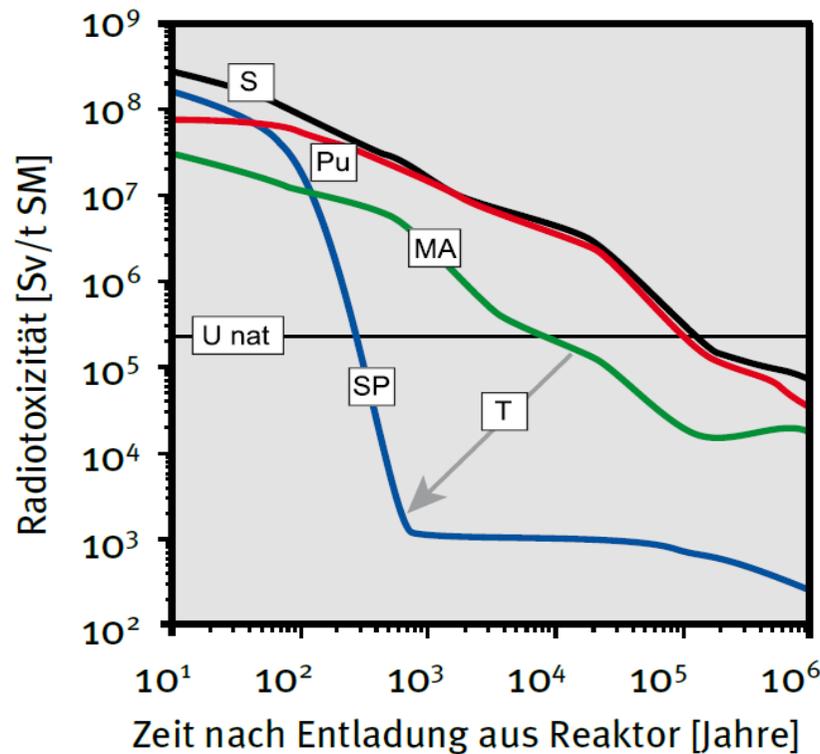
26.06.2011, von MONIKA ETSPÜLER



„Das Beispiel Transmutation zeigt eindrucksvoll, welches Potential die Grundlagenforschung – hier die Beschleunigertechnologie – zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen birgt.“

Johanna Stachel, Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Abb. 2



Abnahme der Radiotoxizität von abgebranntem Kernbrennstoff nach Abtrennung des Urans U im Vergleich. Die Minoren Aktinide MA werden durch Transmutation T in Spaltprodukte SP überführt, sodass diese den Abklingprozess dominieren.

- U nat:* Natururan
- SP:* Spaltprodukte
- MA:* Minore Aktiniden
- Pu:* Plutonium
- S:* Summe aller Teilradiotoxizitäten ohne Transmutation
- T:* Transmutation

In Anlehnung an [1].

Inhalt

1. Einleitung: Versprechungen und Perspektiven
2. **Partitionierung & Transmutation**
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle
5. Fazit

Partitionierung ist ...

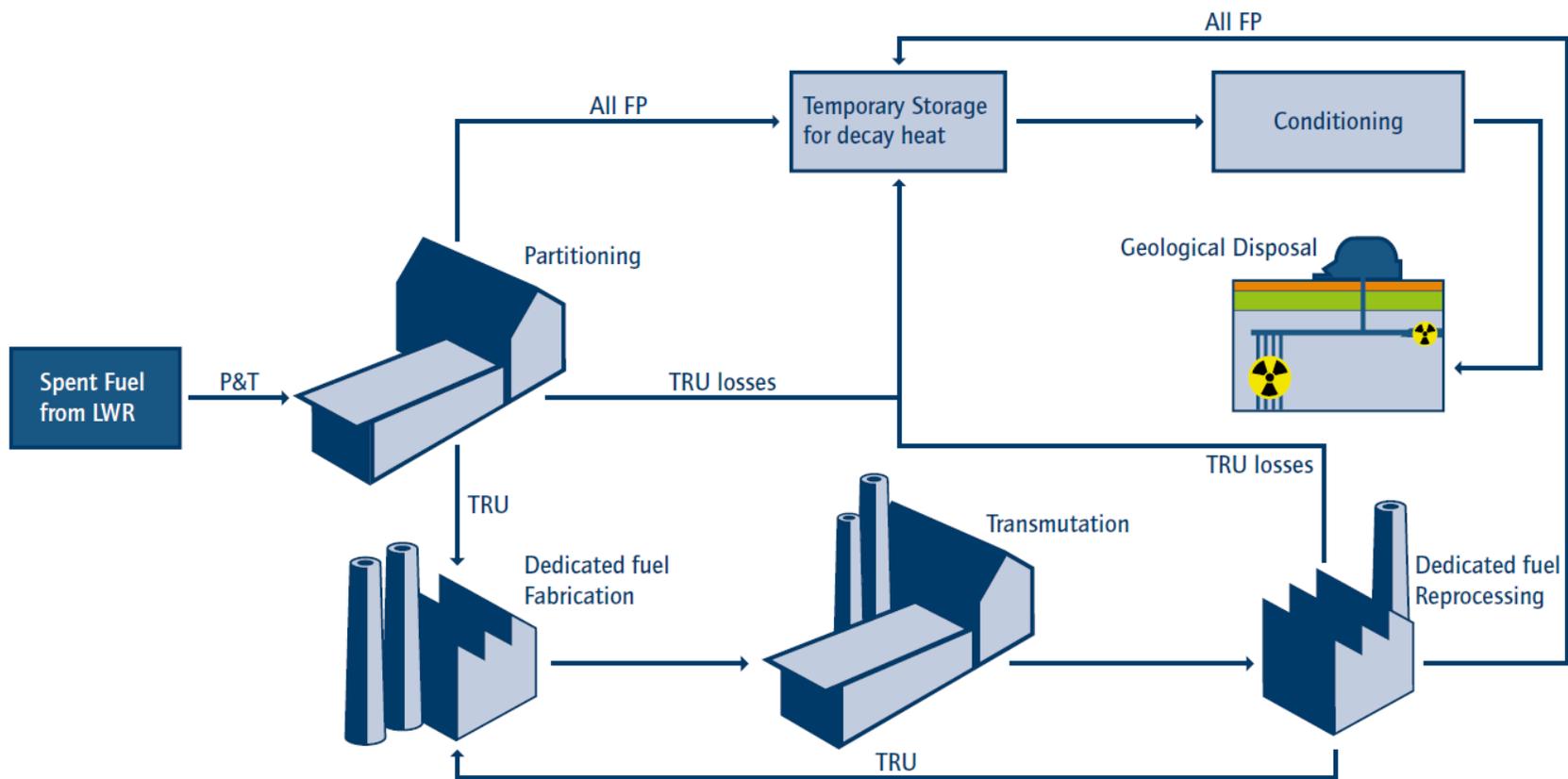
die selektive Abtrennung gewünschter Radionuklide aus den abgebrannten Brennelementen

in Wiederaufarbeitungsanlagen

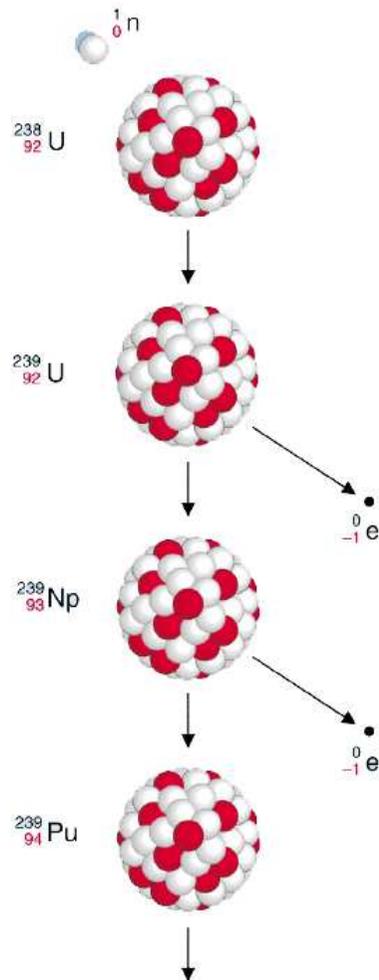
Transmutation ist ...

die neutroneninduzierte Umwandlung von Radionukliden in idealerweise stabile oder kurzlebigeren Isotope

in kerntechnischen Anlagen



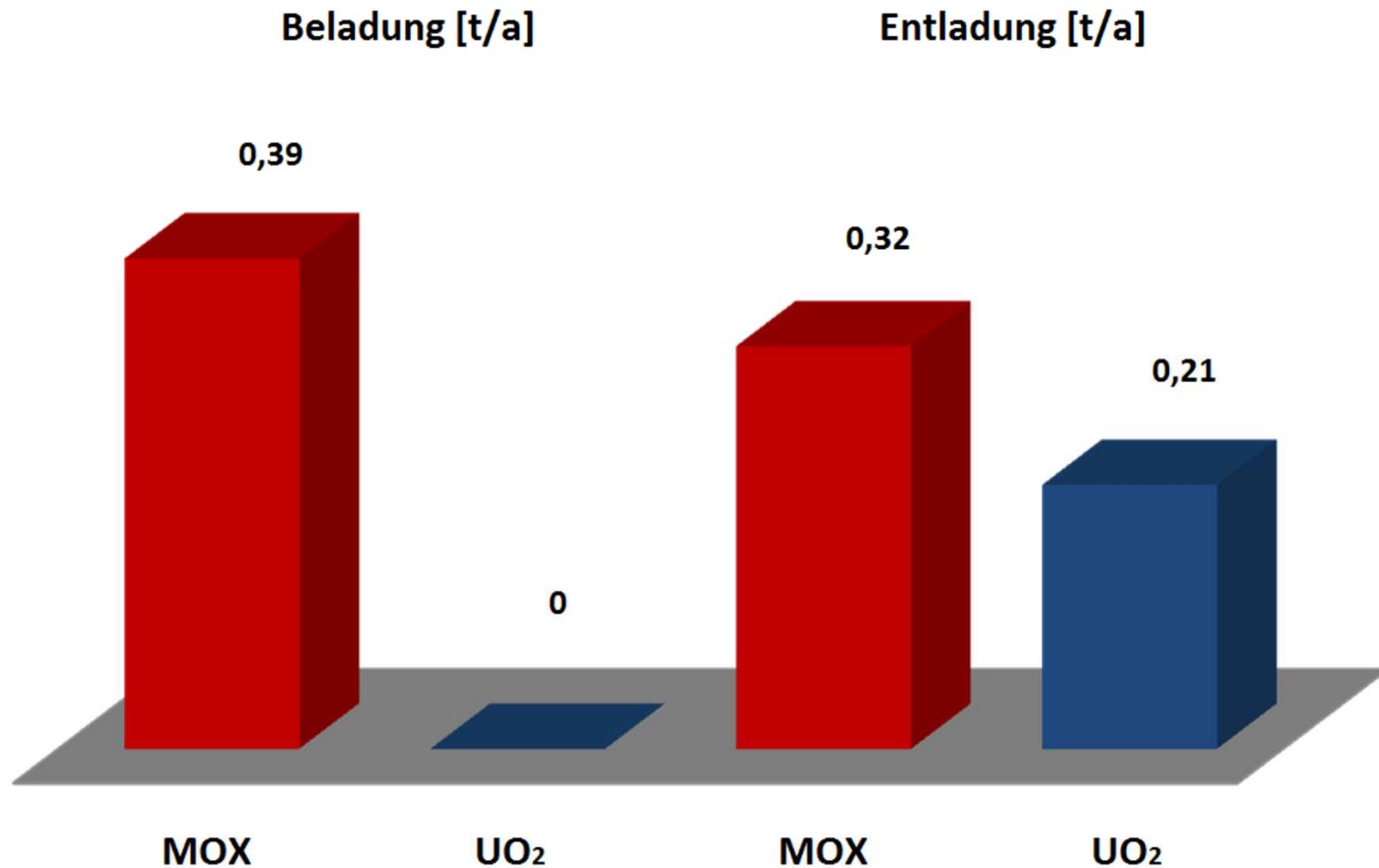
Kernreaktionen (→ Transmutation)



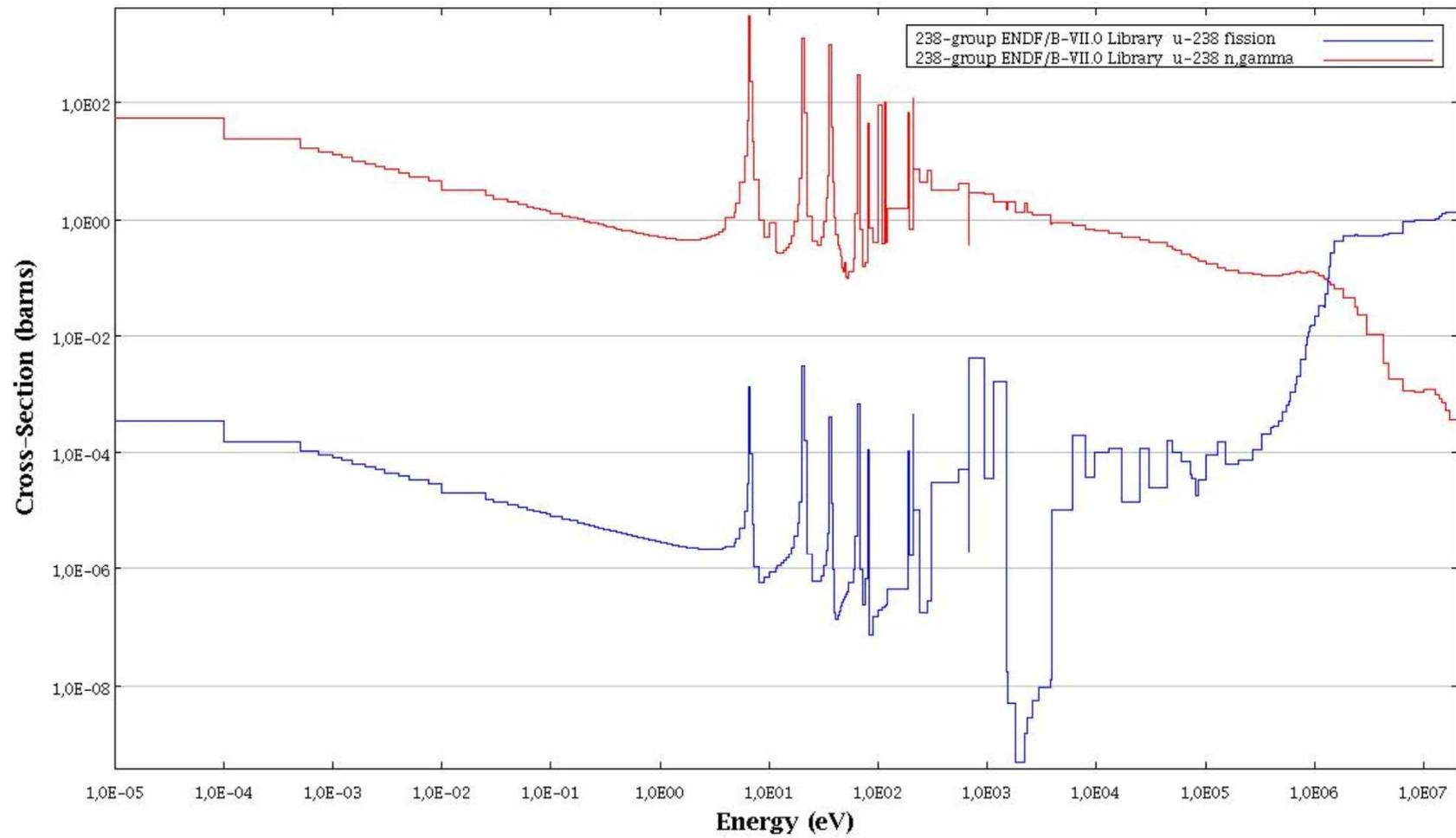
Am239 11,9 h	Am240 2,12 d	Am241 4,3E2 y	Am242 16,02 h	Am243 7,4E3 y
Pu238 87,76 y	Pu239 2,4E4 y	Pu240 6,6E3 y	Pu241 14,36 y	Pu242 3,7E5 y
Np237 2,1E6 y	Np238 2,12 d	Np239 2,36 d	Np240 1,03 h	Np241 13,9 m
U 236 2,3E7 y	U 237 6,75 d	U 238 4,5E9 y <small>99,28%</small>	U 239 23,45 m	U 240 14,1 h
Pa235 24,5 m	Pa236 9,1 m	Pa237 8,7 m	Pa238 2,3 m	Pa239 1,77 h

Arrows indicate decay paths: ^{239}Pu decays to ^{235}U , ^{239}Np , ^{239}Pu , and ^{239}Am . ^{239}Np decays to ^{239}Pu . ^{239}Am decays to ^{239}Pu . ^{239}Pu also decays to ^{235}U , ^{239}Np , and ^{239}Am .

Nutzung von Leichtwasserreaktoren ?



(eigene Berechnungen)



Anforderungen an einen Transmutationsreaktor:

- essentiell:
schnelles Neutronenspektrum
- wünschenswert:
trägerfreier (inert) Brennstoff

favorisierte Optionen

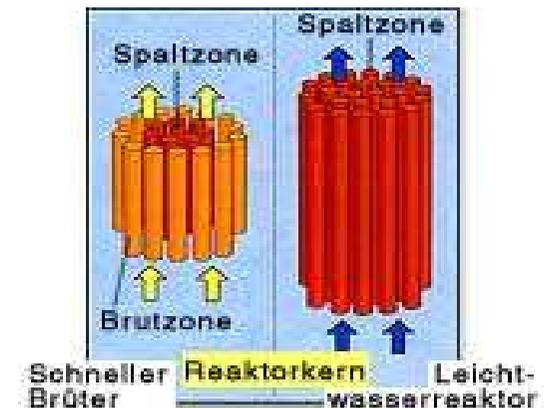
(1) Schnelle natriumgekühlte Reaktoren

(2) beschleunigergestützte Reaktoren

Option (1): Schnelle natriumgekühlte Reaktoren

seit 70 Jahren existierende Technik

- entwickelt zur Nettoproduktion von Plutonium:
schneller Brüter
- dafür heterogener Kern mit
 - Spaltzone: > 20 % Pu
 - Brutmantel mit U_{nat}
- kompakter Kern, hohe Leistungsdichte
- metallisches Natrium als Kühlmittel



- meist schlechte Verfügbarkeiten
- Risiko von Leistungsexkursionen (Bethe-Tait-Störfall)

Option (1): Schnelle natriumgekühlte Reaktoren

Weiterentwicklungen im Rahmen des *Generation IV International Forum* und der *European Industrial Initiative on Sustainable Nuclear Energy*:

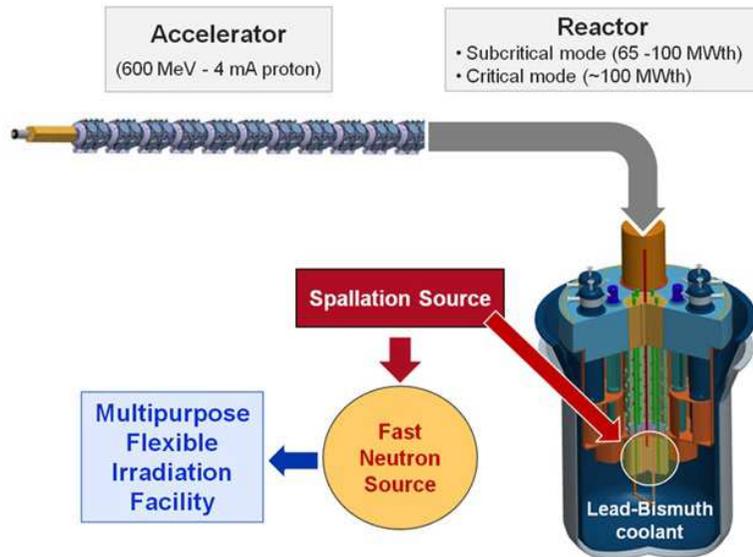
- Transmutation von Aktiniden: vorgesehen
→ Verzicht auf Brutmantel
- negativer Reaktivitätskoeffizient: Herausforderung
→ erfordert heterogene Rezyklierung
→ ausgeschlossen ohne U-238 als Brennstoffmatrix
- geringe Effizienz der Transmutation: ca. 10-15 %
→ **vielfache Aktinidenrezyklierung unabdingbar**

Option (2): beschleunigergestützte Reaktoren

(bis heute) nicht existierende Technik

- unterkritischer Reaktor
- Kritikalität durch externe Spallationsneutronen
→ keine Leistungsexkursionen möglich
- Kühlmittel & Spallationstarget:
Pb oder Pb/Bi-Eutektikum
- Geringe Effizienz der Transmutation: ca. 10-15 %
- Herausforderungen:
 - kontinuierlicher p-Beschleuniger hoher Flussdichte
 - inhomogene Leistungsverteilung
 - Strahlenschutz

Beschleunigergetriebene Systeme



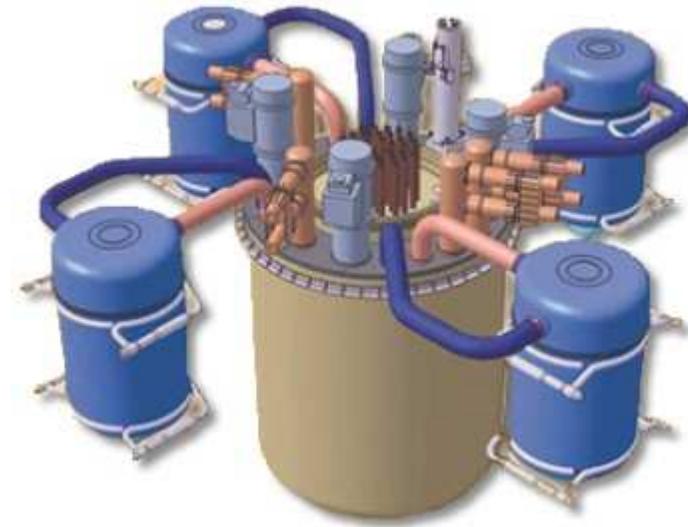
MYRRHA

Quelle: <http://www.accelerators-for-society.org/prospects/index.php?id=10>

EFIT

European Facility for Industrial Transmutation

Schnelle natriumgekühlte Reaktoren

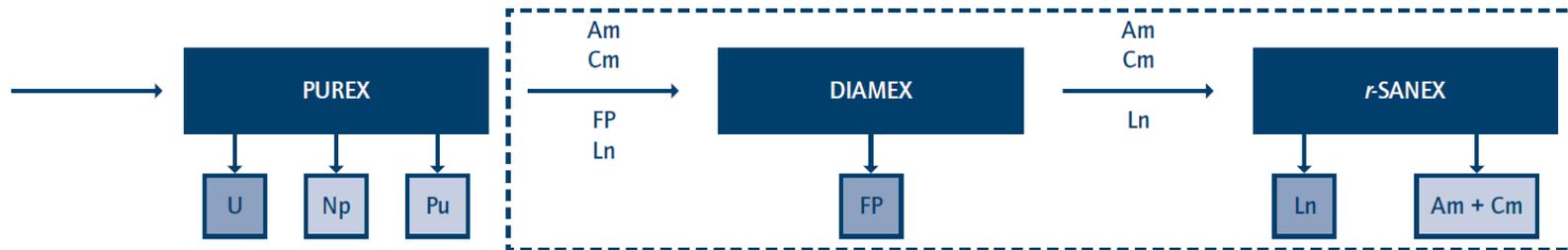


ASTRID

Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration (frz.)

Wiederaufarbeitung (→ Partitionierung)

Option (1): Flüssig-Flüssig-Extraktion der Aktinide



Selective Actinide Extraction – SANEX

DIAMide Extraction – DIAMEX

Diamide: Dimethyl-Dibutyl-Tetradecyl-Malonamid

Option (2): hydrometallurgische Trennverfahren

elektrochemische Verfahren (Elektrolyse)



Laborversuche am JRC-ITU
(Institut für Transurane)

Brennelementfertigung

- großtechnische Erfahrungen mit (Pu,U)O₂-Fertigung und –Bestrahlung
- erste Bestrahlungsversuche mit Am-haltigem Brennstoff
- mit Aktiniden signifikant höhere n- und γ-Dosen
 - fernbediente Fertigung und Handtierung erforderlich
 - **Verzicht auf Cm-Rezyklierung** erwogen
- als inerte Matrix (Pu,Am)-⁹²Mo entwickelt
 - ⁹²Mo-Isotop muss auf 93 % angereichert werden
 - muss aus Abfällen zurückgewonnen werden

Inhalt

1. Einleitung: Versprechungen und Perspektiven
2. Partitionierung & Transmutation
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle
5. Fazit

Ausgangsdaten

abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren:

- 10.500 t Schwermetall

darin etwa

- 130 t Plutonium
- 40 t minore Aktinide (Np, Am, Cm)
- 430 t Spaltprodukte

Das Gesamtsystem

- 7-8 Reaktoren für 150 Jahre (EFIT á 400 MW_{th})
- 1 große Wiederaufarbeitungsanlage
- 1 Fabrik zur Brennstofffertigung
- Ex-Core-Zeit 3 Jahre
- uranfreier Brennstoff
- ca. 150 Jahre Betrieb
- Aktinide: 170 t → ca. 5 t
- Spaltprodukte: 430 t → ca. 580 t
- ca. 100.000 t zusätzlicher schwach- und mittelradioaktiver Abfälle

Inhalt

1. Einleitung: Versprechungen und Perspektiven
2. Partitionierung & Transmutation
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für
wärmeentwickelnde Abfälle
5. Fazit

Perspektiven von P&T

- Geringeres Endlagervolumen
 - Reduzierung des Wärmeeintrags ins Endlager
 - Volumenreduktion der Abfälle
- Gefahrenreduktion durch geringere Radiotoxizität des Endlagerinventars
- Dramatisch verkürzte Lagerzeiten:
statt 1 Million nur 100-1000 Jahre

Wärmeentwicklung

- Wärmeleistung für 100 Jahre dominiert von Spaltprodukten, nicht durch Aktinide
- Wärmeleistung nach 100 Jahren von 18 MW auf < 1 MW gesunken
- Reduzierung der Wärmeleistung bei P&T vor allem durch lange Zwischenlagerung
- Zusätzliche Reduktion durch P&T nur für langfristige Wärmefreisetzung

→ Einfluss auf die Größe des Endlager gering

Mengenreduktion

- Volumenreduktion von 28.000 m³ auf 9.500 m³
- hauptsächlich durch Abtrennen des Urans aus den Abfällen
- Uran muss in (neuem) Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle endgelagert werden
- geschätzte Größe eines zukünftigen Endlagers (Anteil der abgebrannten Brennelemente):
 - Streckenlagerung: rund 1,1 Quadratkilometer
 - Bohrlochlagerung: rund 0,4 Quadratkilometer

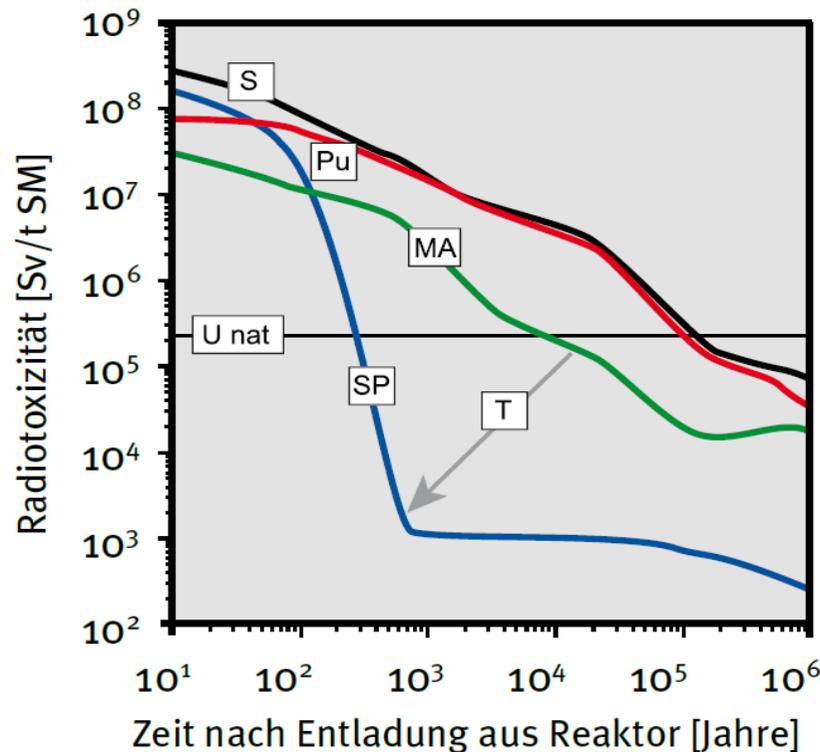
→ Mengenreduktion für Situation in Deutschland eher bedeutungslos

Risikoreduktion

„Das Beispiel Transmutation zeigt eindrucksvoll, welches Potential die Grundlagenforschung – hier die Beschleunigertechnologie – zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen birgt.“

Johanna Stachel, Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Abb. 2



Abnahme der Radiotoxizität von abgebranntem Kernbrennstoff nach Abtrennung des Urans U im Vergleich. Die Minoren Aktinide MA werden durch Transmutation T in Spaltprodukte SP überführt, sodass diese den Abklingprozess dominieren.

- U nat: Natururan
- SP: Spaltprodukte
- MA: Minore Aktiniden
- Pu: Plutonium
- S: Summe aller Teilradiotoxizitäten ohne Transmutation
- T: Transmutation

In Anlehnung an [1].

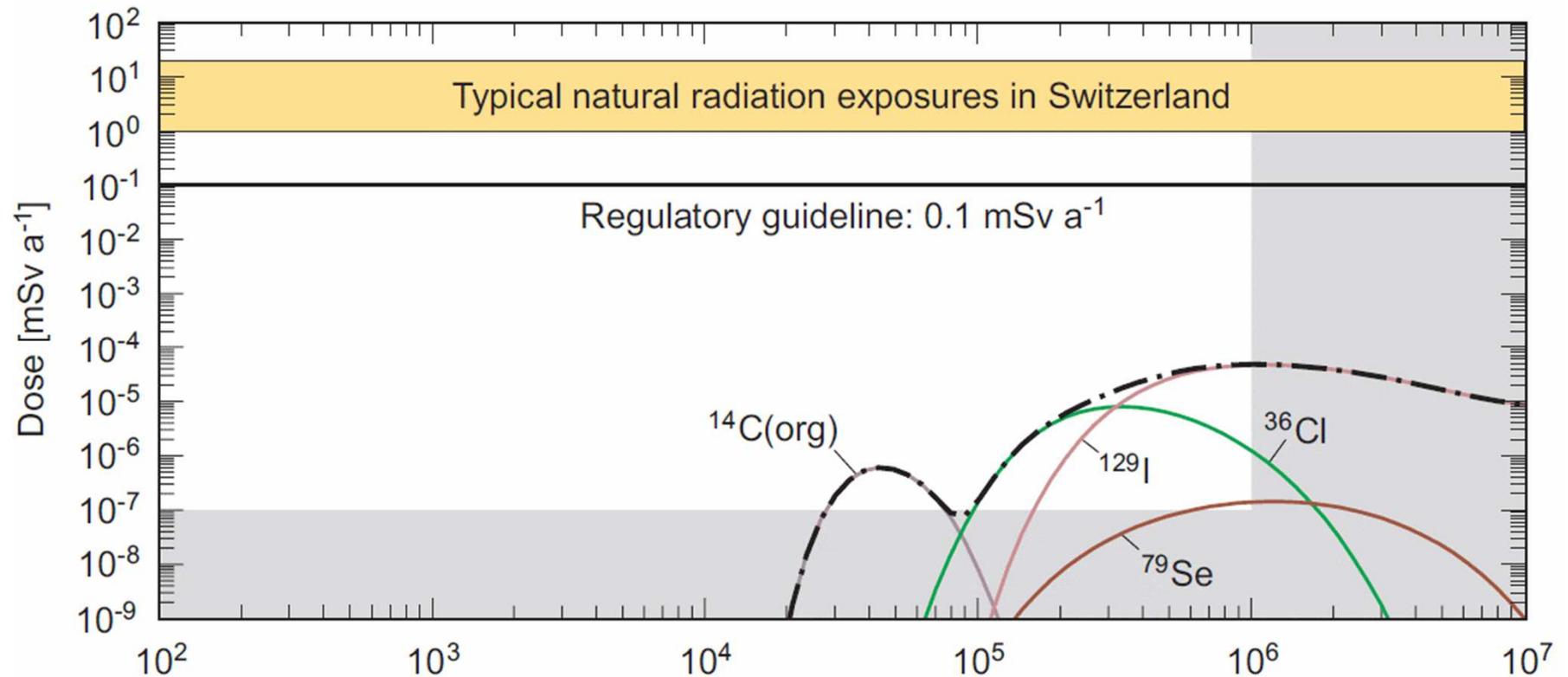
Risikoreduktion

- **Radiotoxizität ungeeignet**, da Annahme eines vollständigen Verzehrs des gesamten radioaktiven Abfalls mit der Nahrung
- **Nicht erfasst** beispielsweise
 - Auslaugraten, Lösungspotential
 - Transport, Sorption
 - Akkumulation, Zerfallsketten
 - Mobilität in der Umwelt und Transfer in Nahrungsketten

Langzeitsicherheitsanalysen

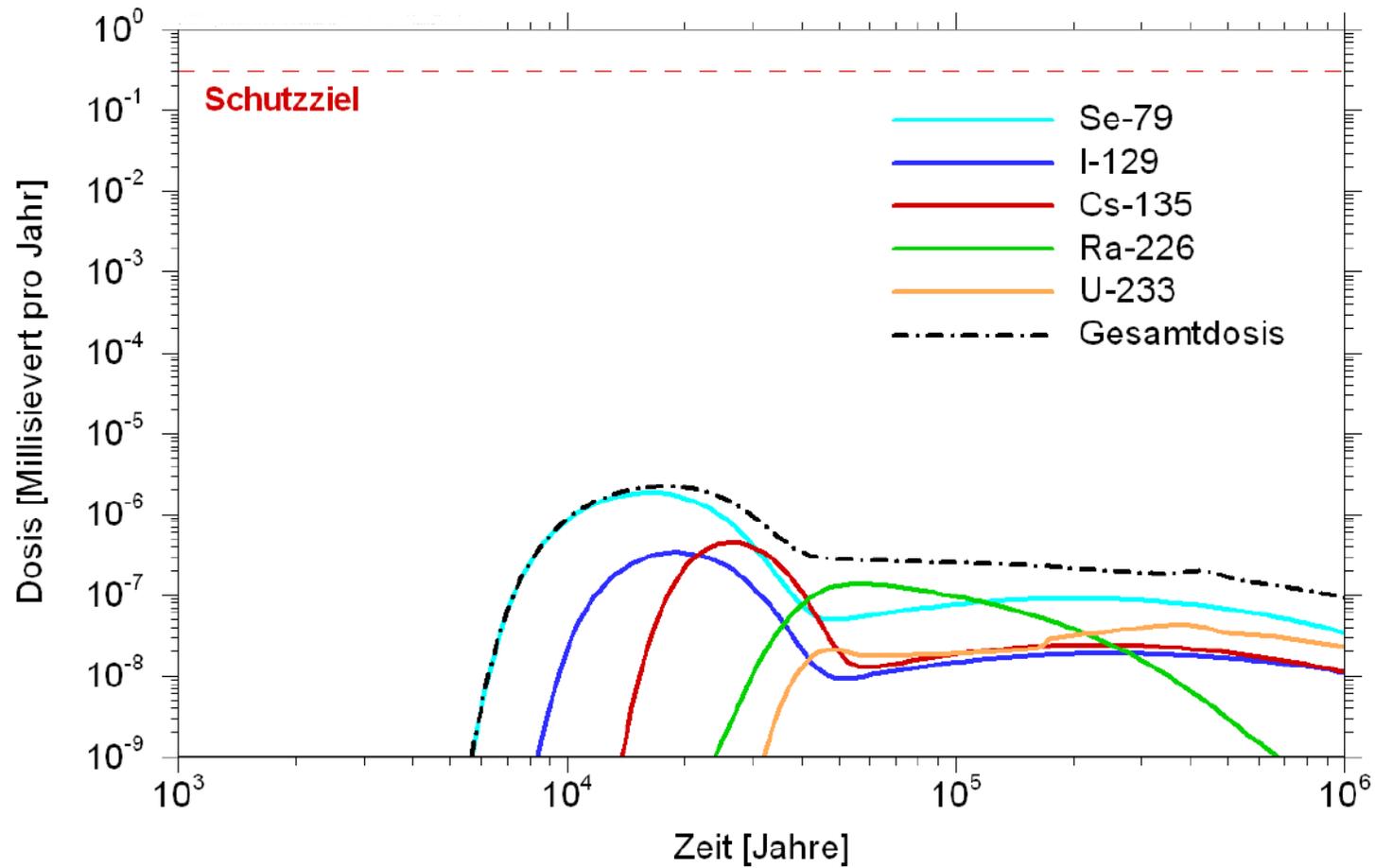
- Wie verhalten sich die eingelagerten Abfälle?
- Auf welchen Wegen können sich welche Radionuklide wie rasch fortbewegen und bis in die Biosphäre ausbreiten?
- Wie verändern sich die geologischen Schichten (Erosion, Hebung/Senkung, Seismik, Vulkanismus, etc.)?
- Wie verändern sich Grundwasservorkommen und -ströme?
- Welche Änderungen ergeben sich durch Klimawechsel (Eiszeiten/Warmzeiten)?
- Welcher Dosis könnten Menschen in der Zukunft maximal ausgesetzt werden?

Beispiel: Opalinus-Tonstein Benken (CH)

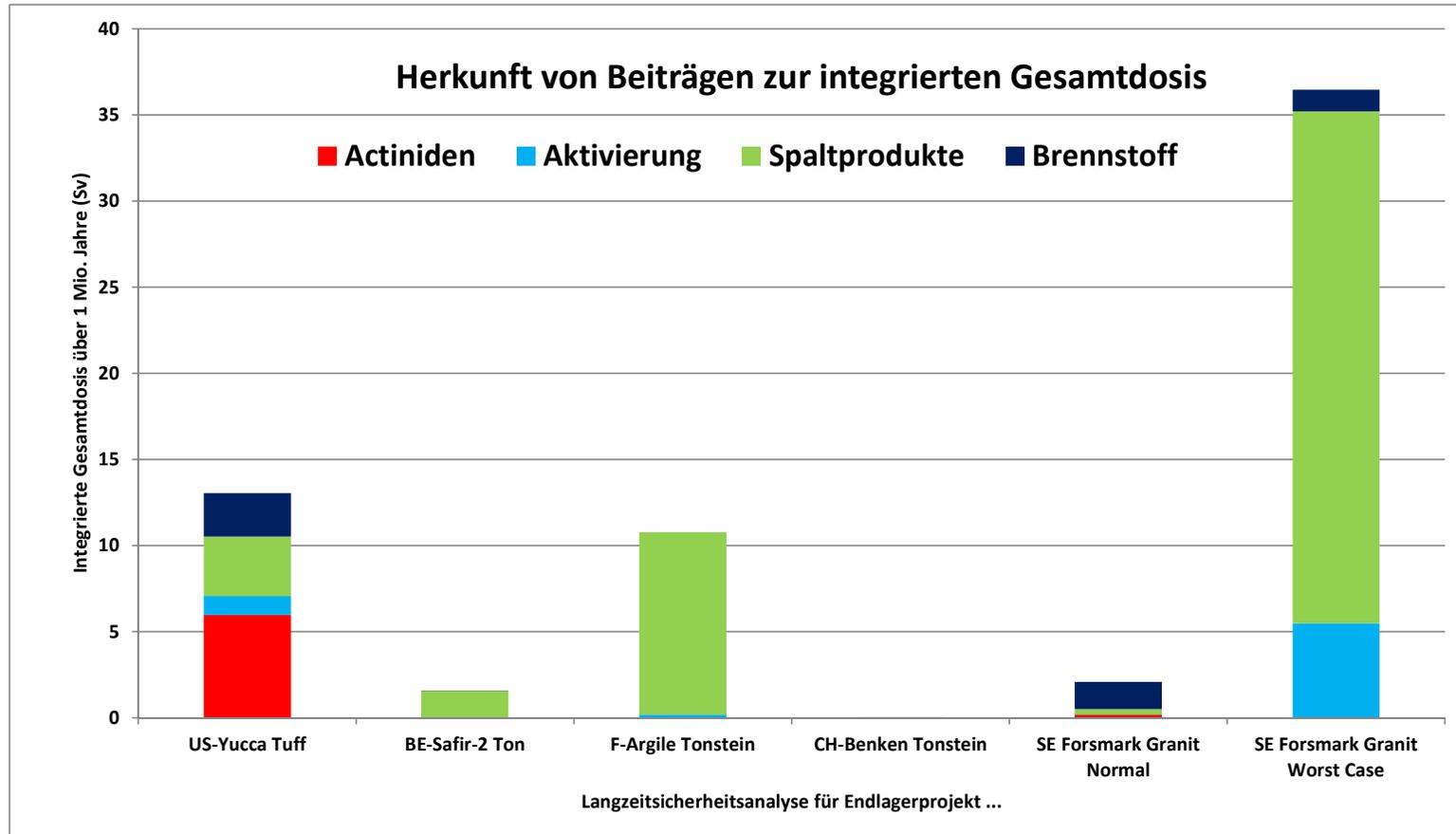


Reference Case Spent Fuel, Aus: NAGRA: Safety Analysis Entsorgungsnachweis, 2002

Beispiel Salzstock



Integrierte Dosisbeiträge bei Langzeitsicherheitsanalysen



Inhalt

1. Einleitung: Versprechungen und Perspektiven
2. Partitionierung & Transmutation
3. Einsatzszenarien in Deutschland
4. Konsequenzen für die Anforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle
5. **Fazit**

Fazit

- Partitionierung & Transmutation von Aktiniden wird keinen nennenswerten Beitrag zur Reduzierung potentieller Dosen nach Verschluss eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle leisten.
- Ihre Verwirklichung reduziert daher auch nicht die Anforderungen an die Isolationsgüte und –zeiträume eines nuklearen Endlagers.
- Anders würde sich die Situation darstellen im Falle einer Partitionierung & Transmutation langlebiger Spaltprodukte.

Aber vielleicht ja doch ...



(Spektrum der Wissenschaft, Februar 2013)