

Version
30. September 2019

Dr.-Ing. Peter Klamser
Klostersiedlung 49
39435 Egeln
Sachsen-Anhalt

klamser@gmail.com

Lizenz **CC BY-SA**

<https://creativecommons.org/licenses/?lang=de>

Bemerkungen zu den
Verordnungsentwürfen im
Rahmen der Standortsuche
für ein Endlager
hochradioaktiver Abfälle

Inhalt

- a) 1 Million Jahre Nachweiszeitraum
- b) Emissionen von insgesamt maximal 10^{-4} der Masse der eingelagerten Radionuklide einschließlich ihrer Zerfallsprodukte aus dem Bereich der wesentlichen Barrieren
- c) dto. jährlich höchstens ein Anteil von 10^{-9} jährlich
- d) Problem der Dilatanzfestigkeit bzw. des Fluiddrucks

Die Entwürfe sind sehr allgemein gehalten und machen wenig konkrete Aussagen zu einzelnen Anforderungen.

Bis zu einem gewissen Grad kann das sinnvoll sein.

Es ist aber die Frage zu beantworten, ob damit das Verfahren zur Standortfindung effektiv und rechtssicher geführt werden kann.

Wo können
Anforderungen
gefunden werden, die
übertragbar sein
könnten?

Warum stehen die Anforderungen „nicht ausgasend“ und „nicht volumenvergrößernd“ in den Entwürfen?

Warum spricht man nicht von einem **vollständigen**, nachsorgefreien und langzeitsicheren Einschluss?

a) Eine Millionen Jahre

Wo kommt die Zahl
her?

Ist sie Zielführend?

a) Eine Millionen Jahre

Wo kommt die Zahl her?

Standortauswahlgesetz:

„dass die technischen und geotechnischen Barrieren den sicheren Einschluss der Radionuklide für eine Million Jahre gewährleisten können.“

a) Eine Millionen Jahre

Aber eben dort steht:

§ 24 - Standortauswahlgesetz (StandAG)

Anlage 4 (zu § 24 Absatz 3)

Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse

(Fundstelle: BGBl. I 2017, 1091)

Die für die langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse wichtigen sicherheitsgerichteten geologischen Merkmale sollen sich in der Vergangenheit über möglichst lange Zeiträume nicht wesentlich verändert haben. Indikatoren hierfür sind insbesondere die Zeitspannen, über die sich die Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, flächenhafte beziehungsweise räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert haben. Sie sind wie folgt zu bewerten:

1. als günstig, wenn seit mehr als zehn Millionen Jahren keine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals aufgetreten ist,
2. als bedingt günstig, wenn seit mehr als einer Million, aber weniger als zehn Millionen Jahren keine solche Änderung aufgetreten ist, und
3. als ungünstig, wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.

a) Eine Millionen Jahre

Also:

Es soll also ausreichen, wenn
nur bedingt günstige oder fast
ungünstige Verhältnisse
prognostiziert werden.

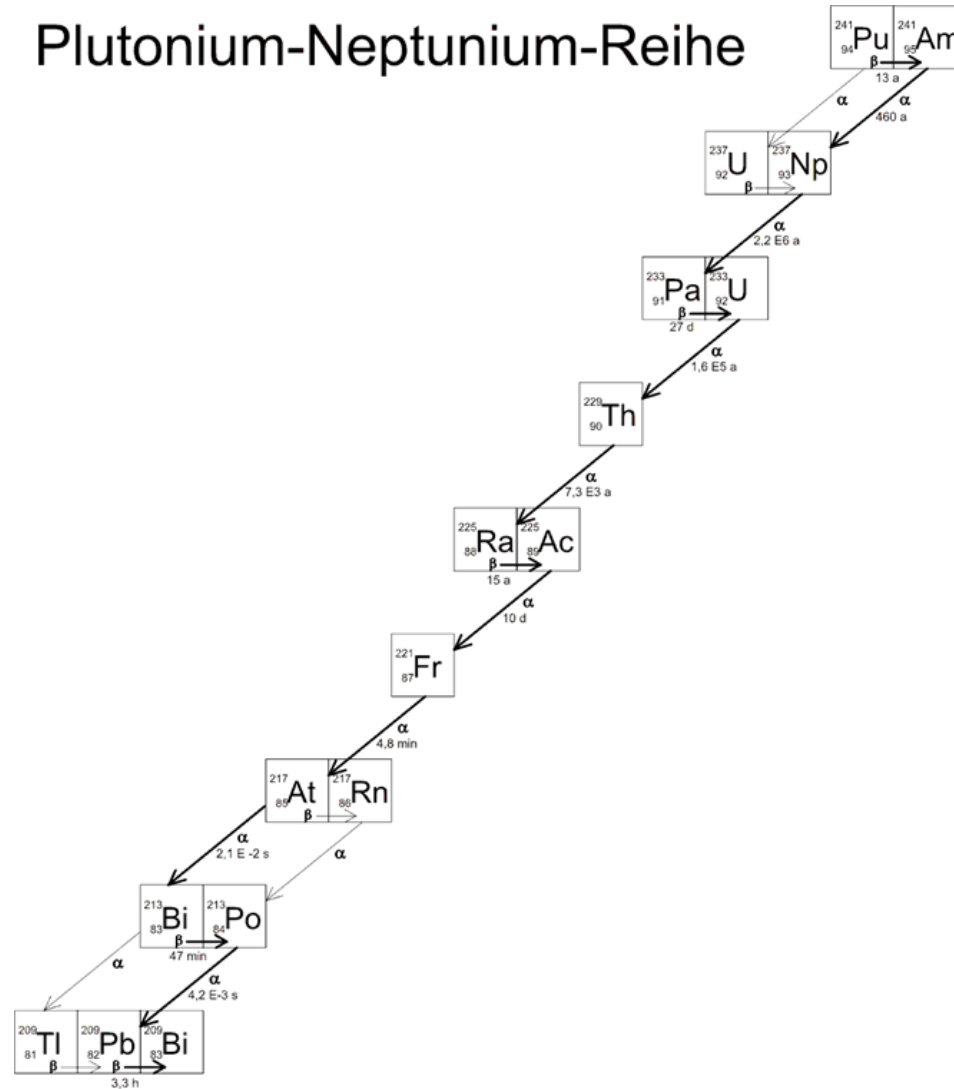
a) Eine Millionen Jahre

Warum sind 1 Millionen Jahre für
eine radioaktives Endlager zu
wenig?

Beispiel Plutonium Zerfallsreihe:

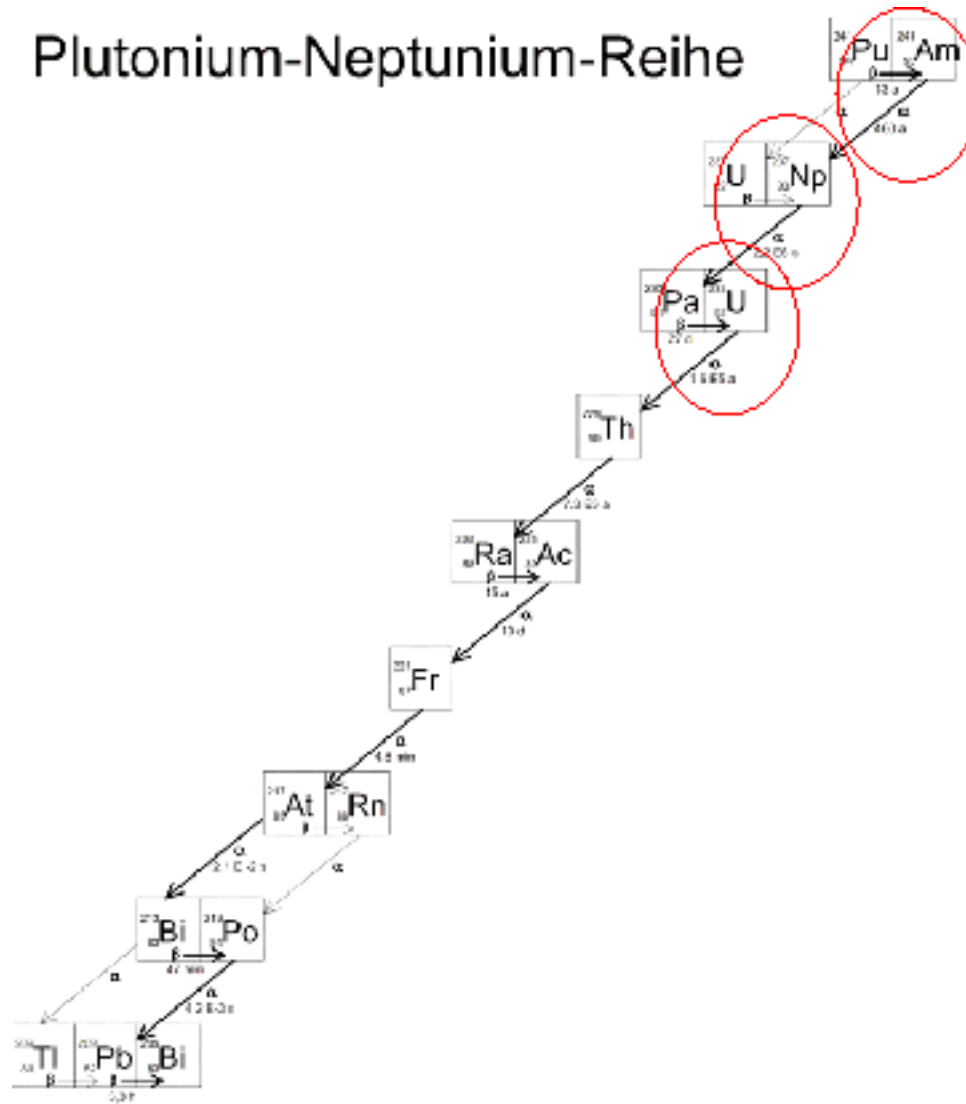
a) Eine Millionen Jahre

Plutonium-Neptunium-Reihe



a) Eine Millionen Jahre

Plutonium-Neptunium-Reihe



a) Eine Millionen Jahre

Plutonium 241 wird in Reaktoren erbrütet.

Die Zerfallsreihe von ^{241}Pu wird von 8 Alpha-Zerfällen bestimmt.

Dieses zerfällt mit einer Halbwertszeit von 13 Jahren zu Americium und dieses wieder mit einer HWZ von 460 Jahren zu Neptunium.

Dessen Halbwertszeit beträgt aber 2,2 Millionen Jahre.

Nach einer Millionen Jahren sind noch über ~73% des Neptuniums vorhanden und damit das Potential zu weiteren 7 Alphastrahlenquellen.

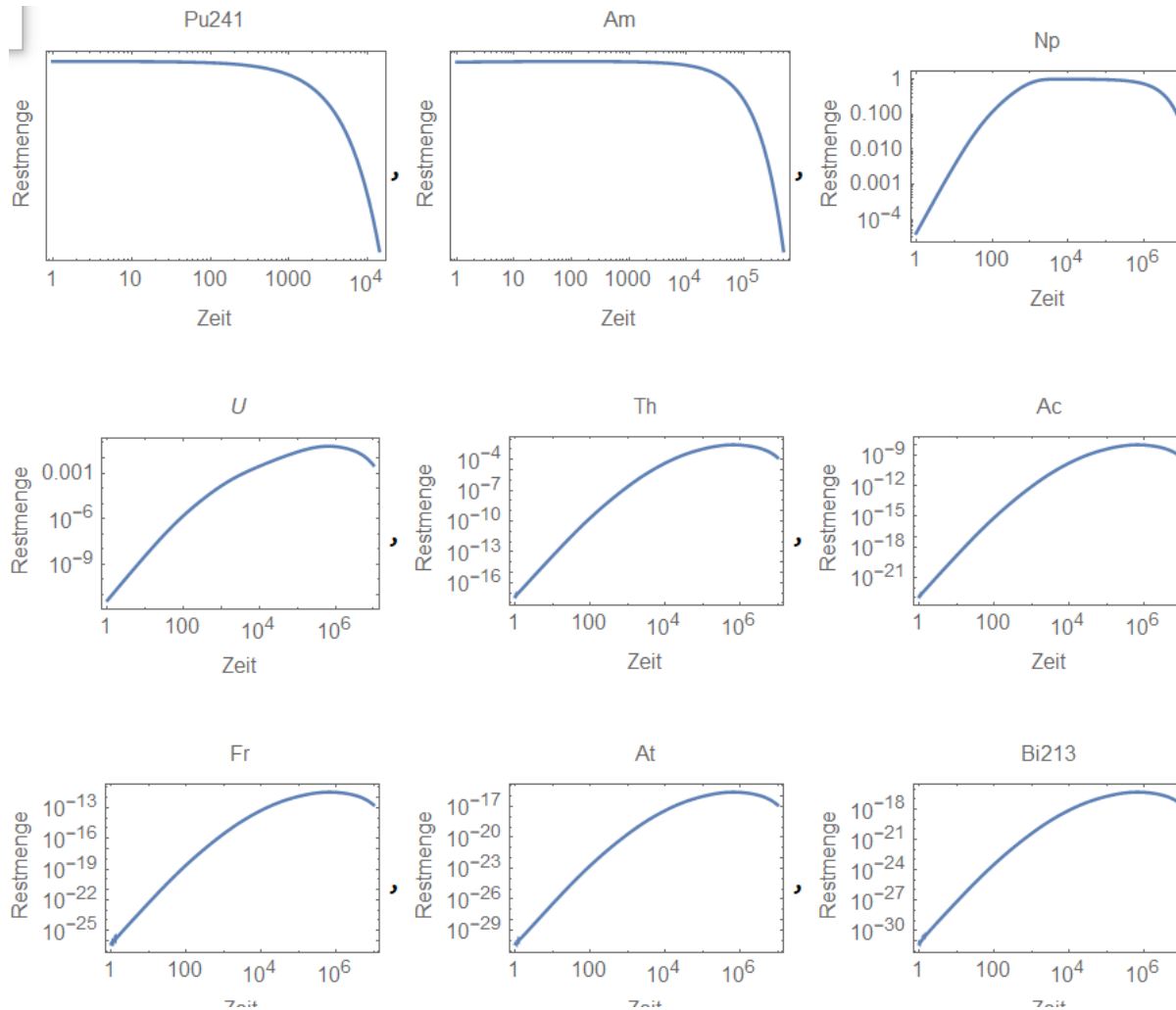
a) Eine Millionen Jahre

Berechnung der Mengen gekoppelten
Zerfallsreihe nach Bateman:

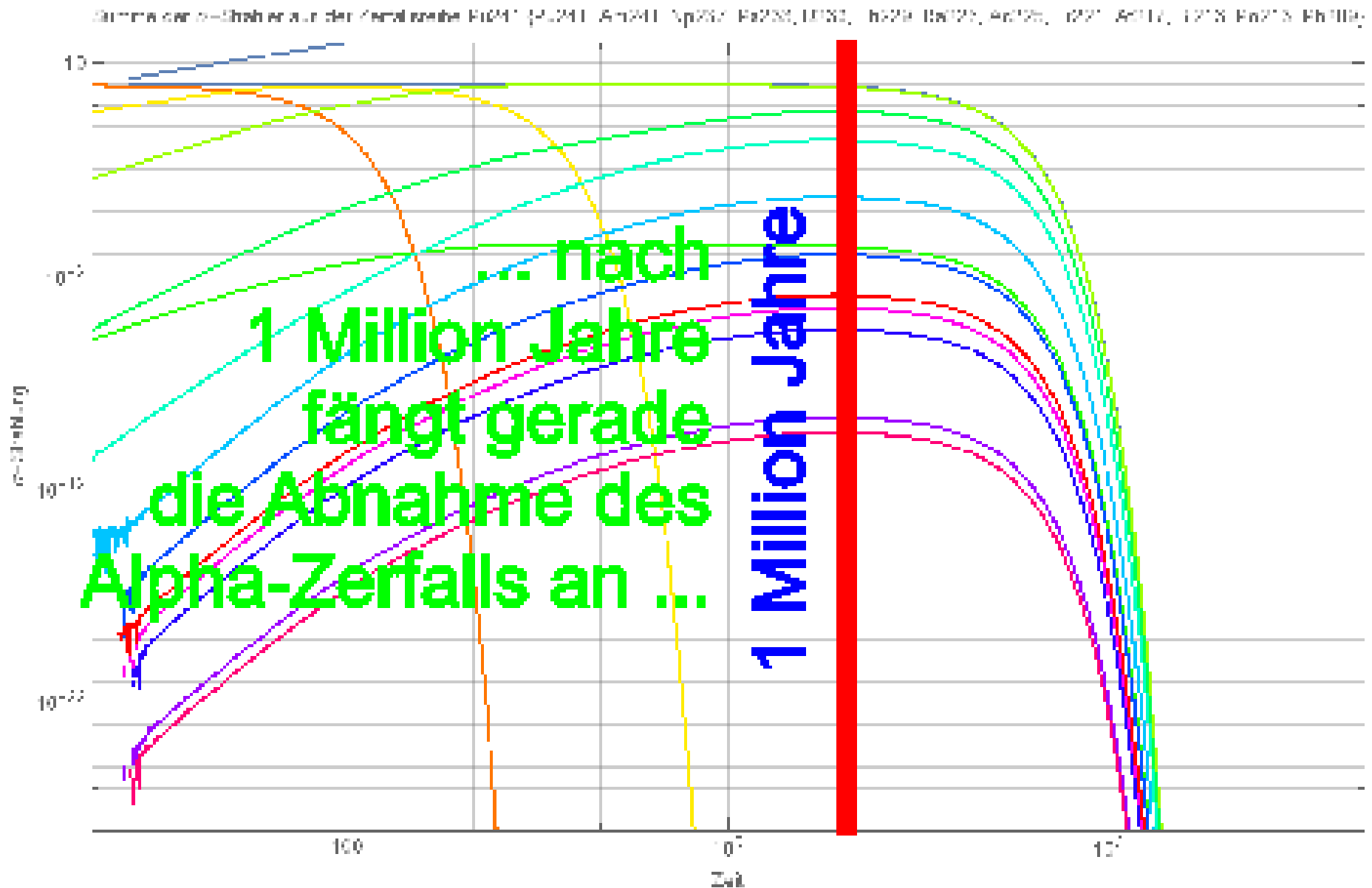
https://en.wikipedia.org/wiki/Bateman_equation

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n \left[N_i(0) \times \left(\prod_{j=i}^{n-1} \lambda_j \right) \times \left(\sum_{j=i}^n \left(\frac{e^{-\lambda_j t}}{\prod_{p=i, p \neq j}^n (\lambda_p - \lambda_j)} \right) \right) \right]$$

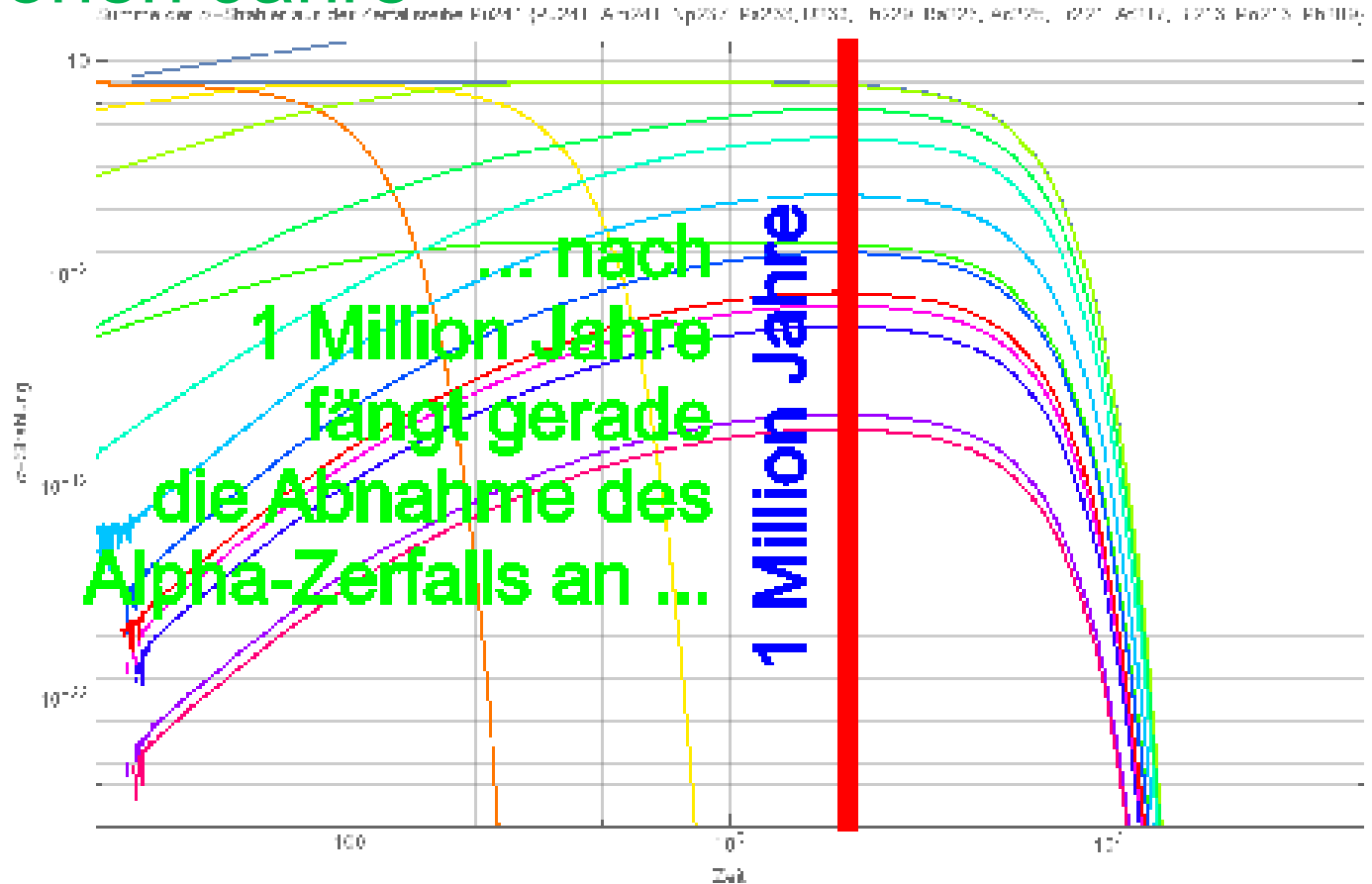
a) Eine Millionen Jahre



a) Eine Millionen Jahre



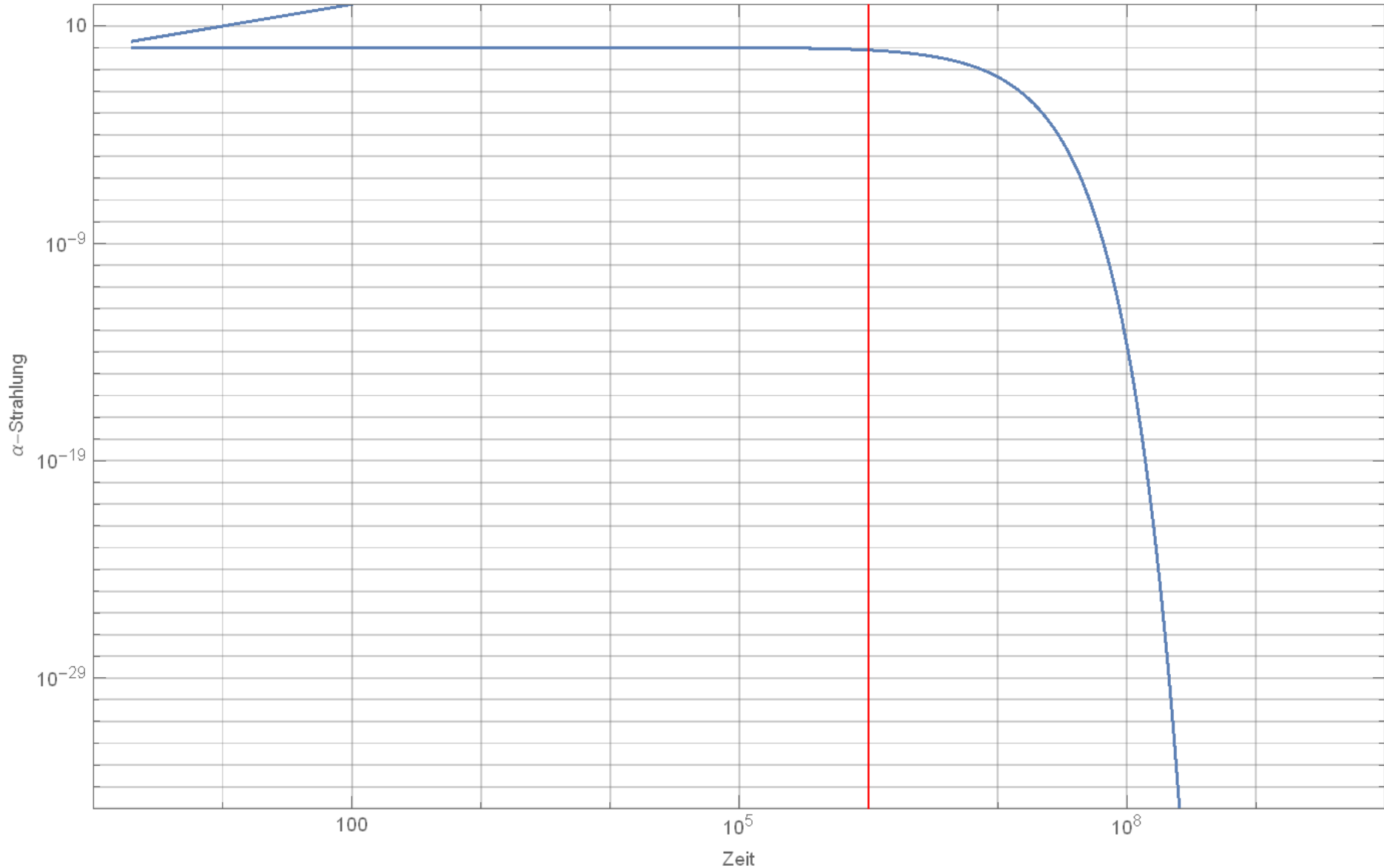
a) Eine Millionen Jahre



Ein Sicherheitsnachweis für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle, der nur 1 Million Jahre betrachtet, entspricht allenfalls den Sicherheitserfordernissen eines Zwischenlagers...

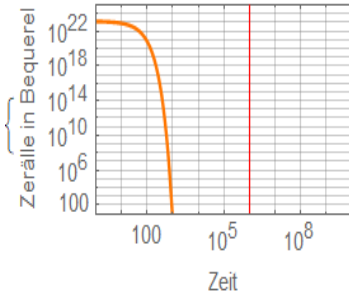
a) Eine Millionen Jahre (Inventar Betrachtung)

Summe der α -Strahlung aus der Zerfallsreihe Pu241 {Pu241, Am241, Np237, Pa233, U233, Th229, Ra225, Ac225, Fr221, At217, Bi213, Po213, Pb209}

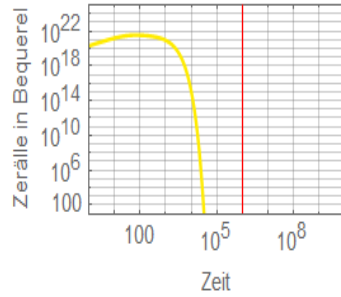


a) Eine Millionen Jahre (Zerfälle in Bequerel)

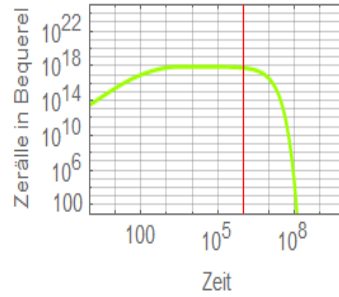
Pu241



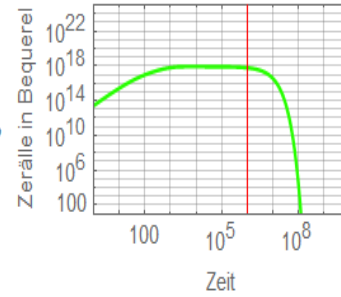
Am241



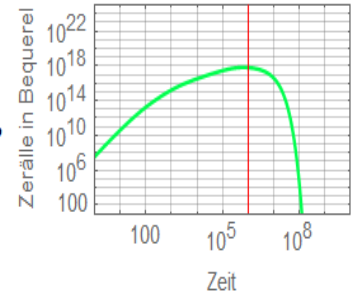
Np237



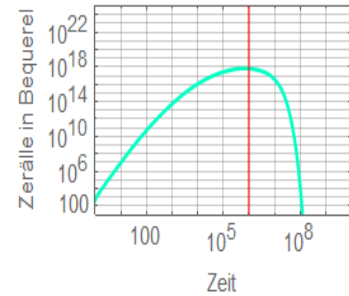
Pa233



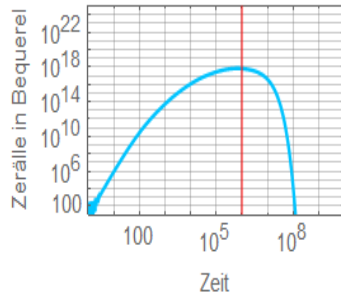
U233



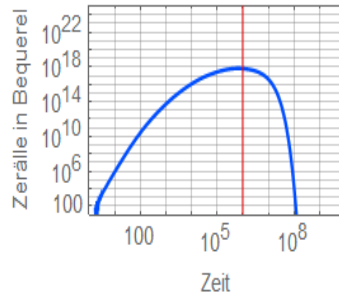
Th229



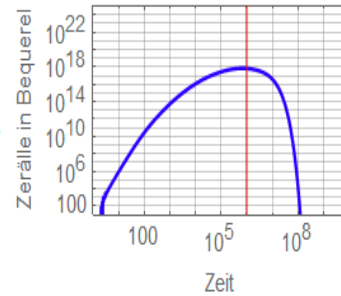
Ra225



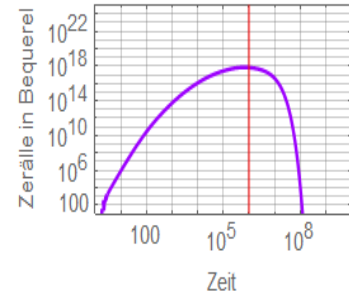
Ac225



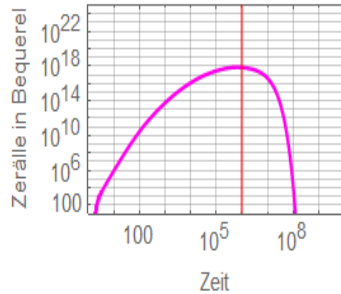
Fr221



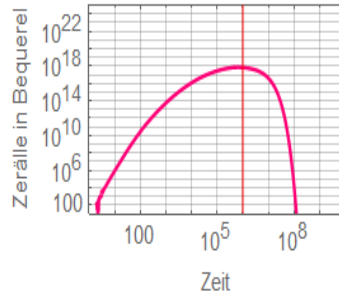
At217



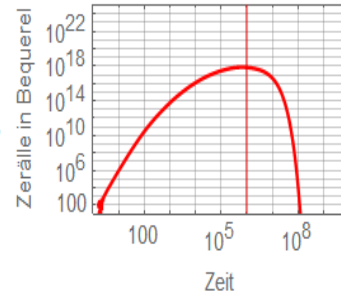
Bi213



Po213

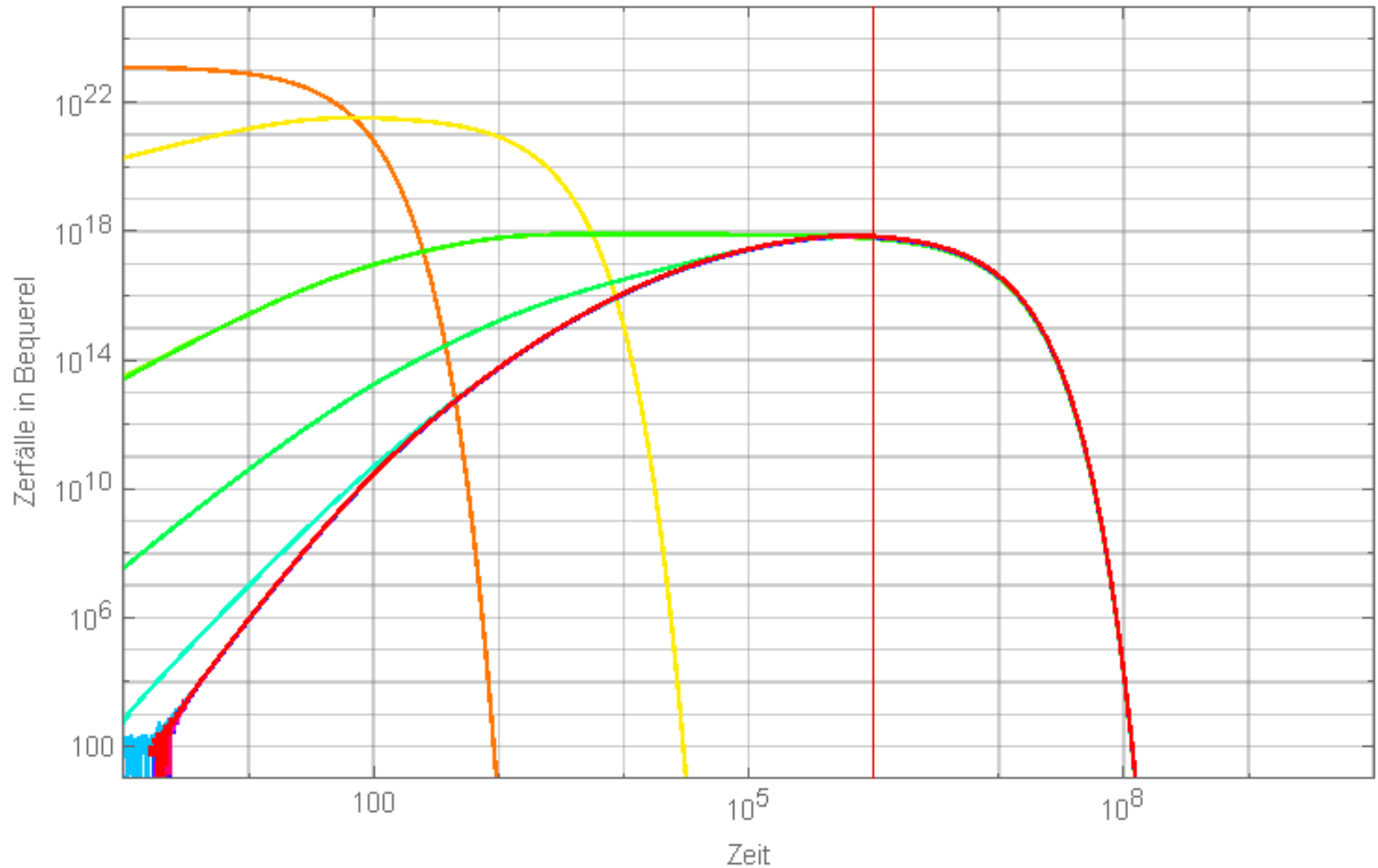


Pb209

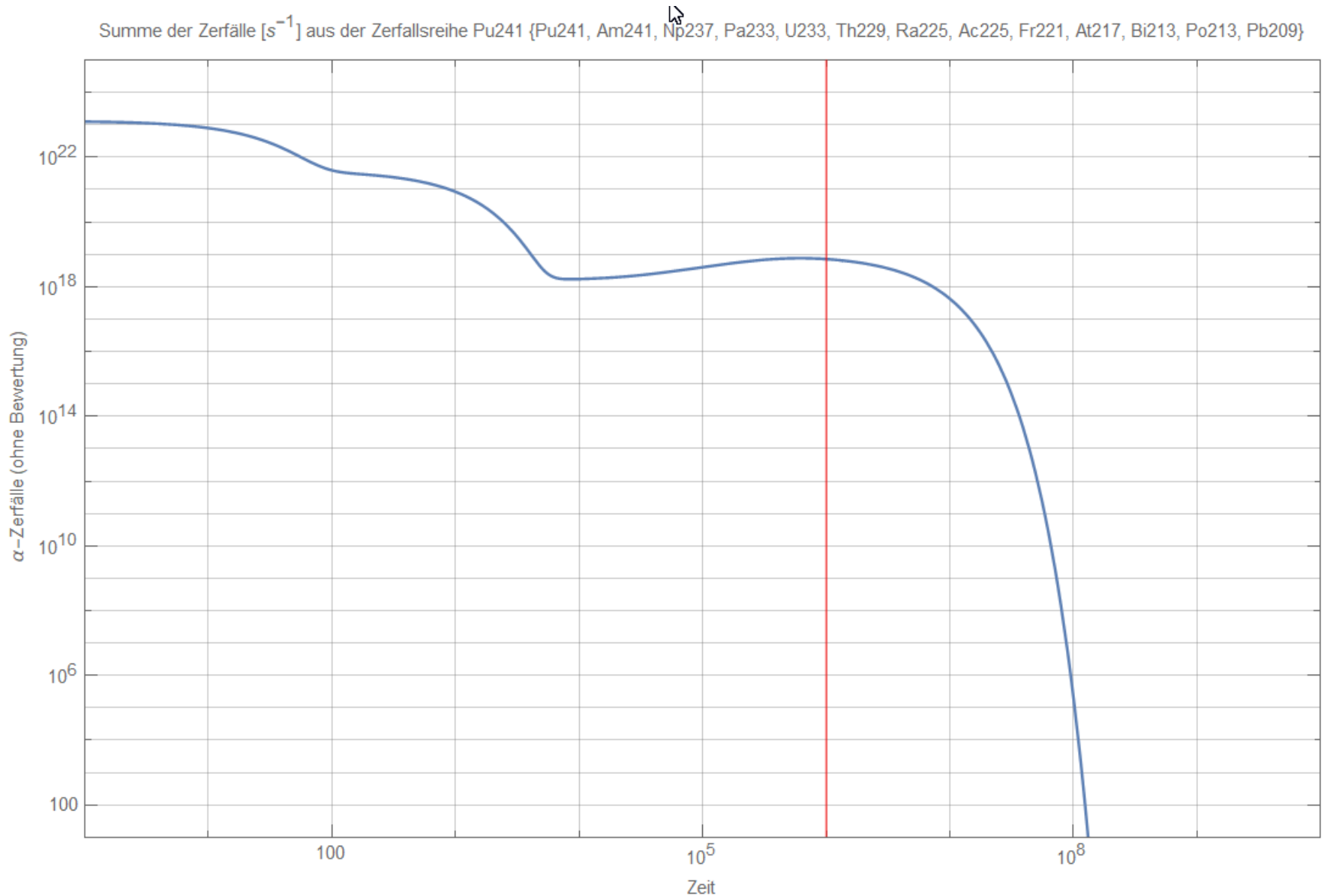


a) Eine Millionen Jahre (Zerfälle in Bequerel)

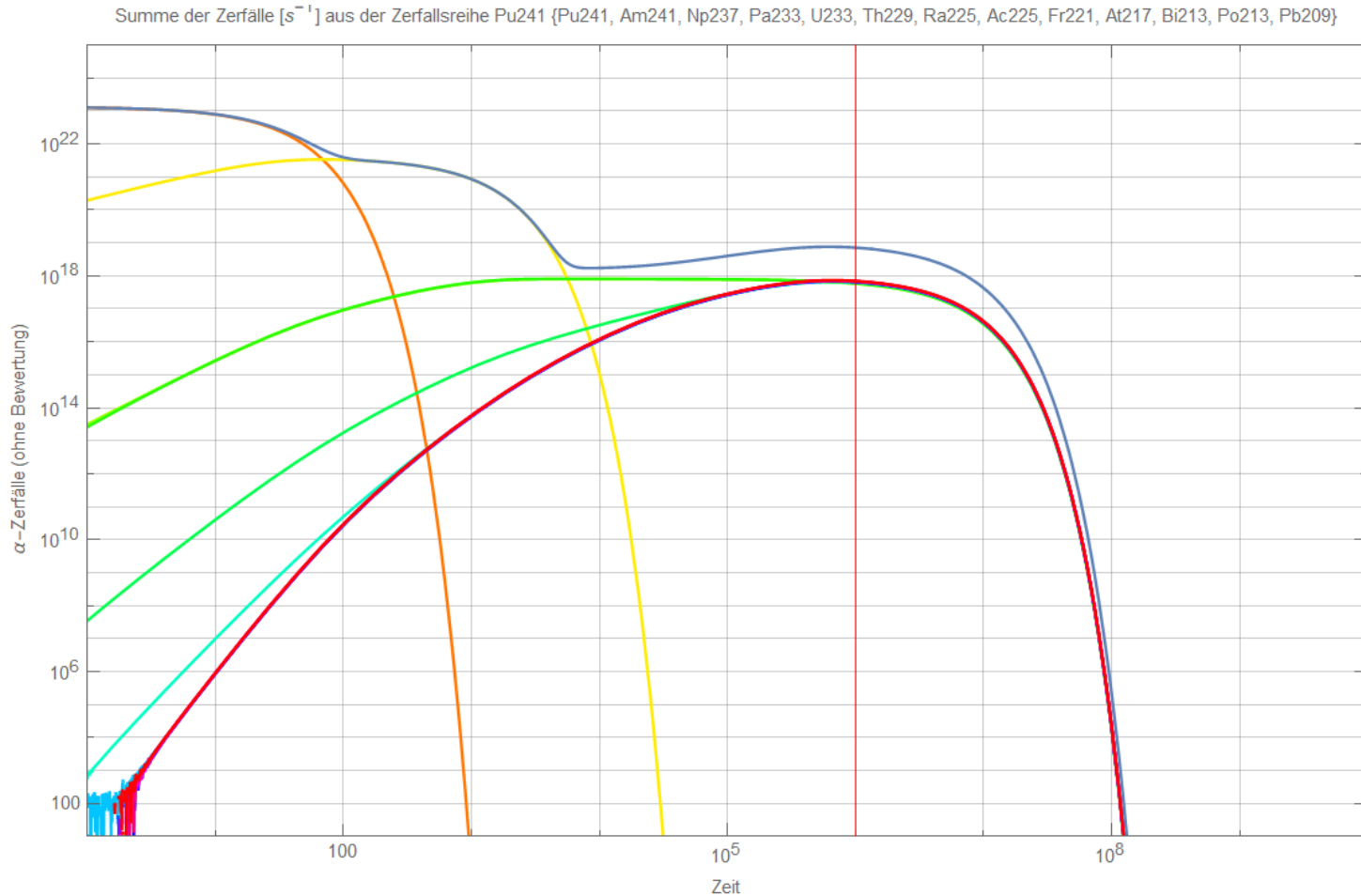
{Pu241, Am241, Np237, Pa233, U233, Th229, Ra225, Ac225, Fr221, At217, Bi213, Po213, Pb209}



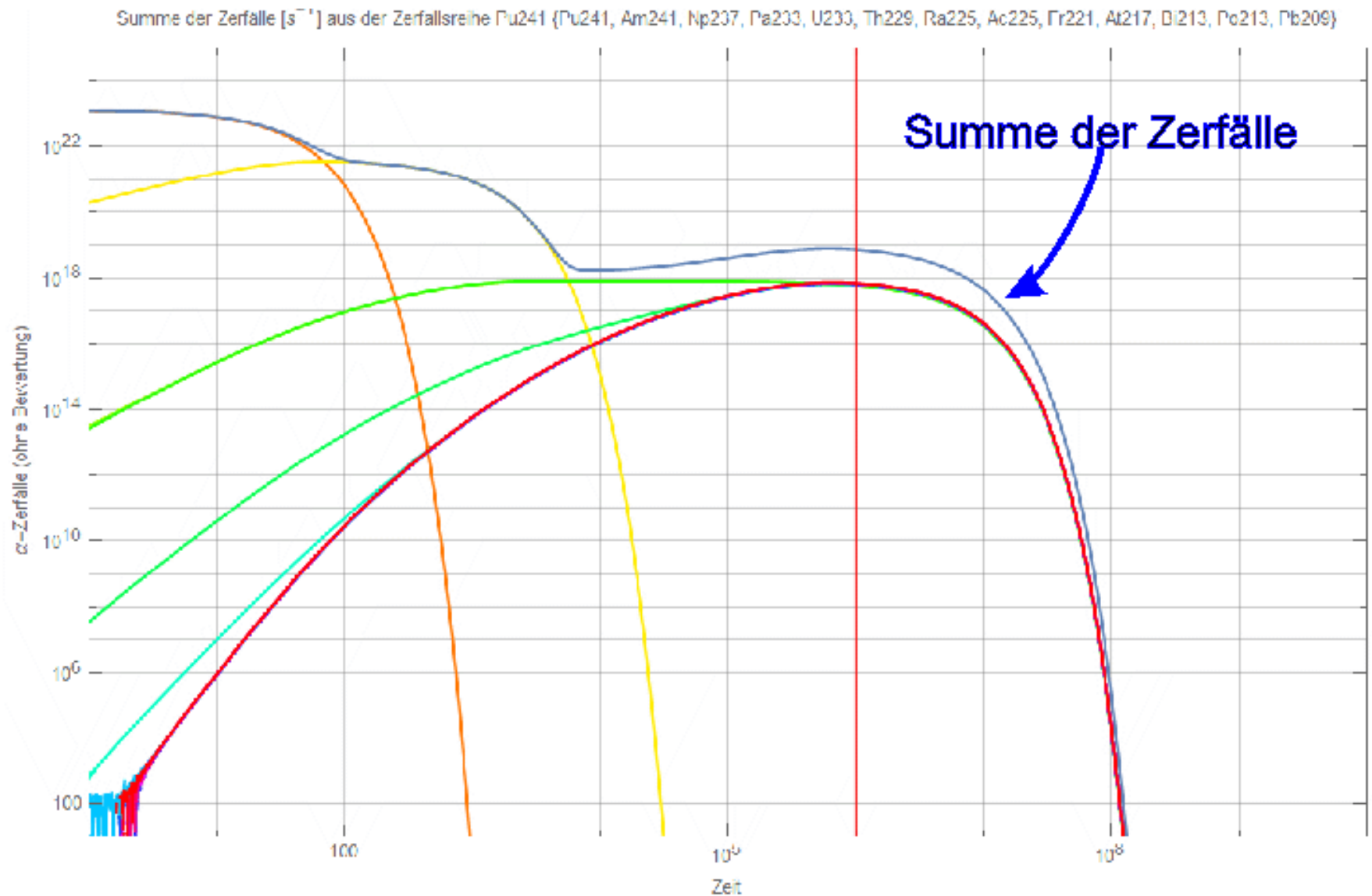
a) Eine Millionen Jahre (Zerfälle in Bequerel)



a) Eine Millionen Jahre (Zerfälle in Bequerel)



a) Eine Millionen Jahre (Zerfälle in Bequerel)



a) Eine Millionen Jahre

Eine Millionen Jahre sind eine willkürliche Wahl für den Betrachtungszeitraum der Sicherheitsnachweise und widerspricht den Anforderungen aus dem Standortauswahlgesetz.

a) Eine Millionen Jahre

Nach einer Millionen Jahre
hat keine signifikante
Abnahme der Aktivität
stattgefunden.

Dazu wären mindestens 10^7
bis 10^8 Jahre erforderlich.

- b) Emissionen von insgesamt maximal 10^{-4} der Masse der eingelagerten Radionuklide einschließlich ihrer Zerfallsprodukte aus dem Bereich der wesentlichen Barrieren
- c) dto. jährlich höchstens ein Anteil von 10^{-9} jährlich

Wo kommen diese Zahlen her?

b) & c) Emissionen

Wo kommen diese Zahlen her?

Die Begründung sagt:

Der Zahlenwert von 10^{-4} für den maximal zulässigen Anteil der Masse der Radionuklide, der über den gesamten Nachweiszeitraum ausgetragen werden darf, wurde ursprünglich in einer Voruntersuchung der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (Bericht GRSA-3405) für die BMU-SiAnf 2010 vorgeschlagen. Abgeleitet wurde dieser Wert dort aus dem Einschluss- und Rückhaltevermögen eines hypothetischen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches im Wirtsgestein Tongestein mit einer Mächtigkeit von 100 m.

b) & c) Emissionen

Was bedeutet das?

Wenn der Wert des gesamten Austritts von Radionukliden aus dem Endlager von 10^{-4} Massenanteil durch den Betrachtungszeitraum von 10^6 Jahren geteilt wird, dann erhält man eine zulässige Emission von 10^{-10} Massenanteilen pro Jahr, also eine 10-Fach niedrigere Emission pro Jahr.

```
In[•]:= Solve[ $10^{-4} == (10^6 - n) 10^{-9} + n 10^{-8}$ , n]  
|löse
```

```
Out[•]= { { n → -100 000 } }
```

Es kann aber auch angenommen werden, dass für die ersten 100.000 Jahre pro Jahr eine Emission von 10^{-8} zulässig sein soll.

b) & c) Emissionen

Die Gesamtemission von 10^{-4} des Inventars ist bei einem Betrachtungszeitraum von 10^6 Jahre inkompatibel zu der jährlich zulässigen Emission von 10^{-9} Massenanteil.

b) & c) Emissionen

Zum Stichtag 31. Dezember 2013 sind aus dem Betrieb der Leistungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland etwa 8.216 Mg SM³⁾ in Form bestrahlter Brennelemente (BE) angefallen, die in Deutschland endgelagert werden müssen.

Tabelle 2.2: Bestand bestrahlter Brennelementen aus deutschen Leistungsreaktoren, die zum Stichtag 31. Dezember 2013 in Deutschland lagern

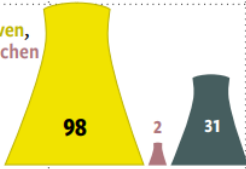
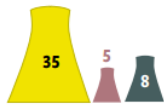
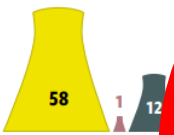
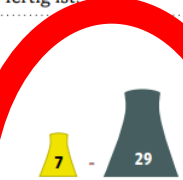
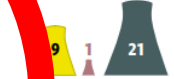
Lagerort	Behälter	Brenn- elemente	Masse
Kernkraftwerk-Lagerbecken*		13.981 BE	4.292 Mg SM
Trockene Behälterlagerung in Standortzwischenlagern	332	9.225 BE	3.249 Mg SM
Trockene Behälterlagerung in den Zwischenlagern Ahaus, Gorleben und dem Zwischenlager Nord	76	5.343 BE	675 Mg SM
Summe:		28.549 BE	8.216 Mg SM

* einschließlich des als Nasslager konzipierten Zwischenlagers Obrigheim sowie des Cores des endgültig außer Betrieb genommenen Kernkraftwerks Brunsbüttel

10⁻⁴ von 8216 t SM sind
immerhin 822 kg SM, das in die
Umwelt emittiert werden darf?

b) & c) Emissionen

Quelle:
Uranatlas 2019
des BUND

Land	USA	RUSSLAND	FRANKREICH	DEUTSCHLAND	JAPAN
Hintergrund	1087 erteilte der Kon-	Während Russland ber ein Endlager für chwach- und mit- aktive Abfälle ver- lgt, ist es bei hoch- radioaktivem Müll och in der Erkun- ungsphase. In Frage ommt das Nischne- ansky-Felsmassiv in er Region Krasno- rsk in Sibirien. Noch werden die geologi- schen Voraussetzun- en geklärt. Sollte der tandort ungeeignet ein, steht Russland ieder bei null.	Seine hochradioak- tiven Abfälle will Frankreich bei Bure in Lothringen in 500 Metern Tiefe in einer Tongesteinsforma- tion einlagern. Das 90 Einwohner*innen- Dorf ist seit der Be- kanntgabe im Wider- stand: Weil es auch grundsätzliche Zwei- fel am Standort Bure gibt, hat die franzö- sische Regierung noch keine endgültige Genehmigung erteilt. Alternativen wurden aber verworfen.	Um ein Auswahlver- fahren für ein Endla- ger für hochradioak- tiven Müll zu finden, hat Deutschland eine Endlager-Kommis- sion eingesetzt. Sie hat empfohlen, über- all in Deutschland nach dem am besten geeigneten Ort zu suchen. Derzeit wird hochradioaktiver Atommüll in Castor- behältern oberirdisch verwahrt. Es wird noch Jahrzehnte dau- ern, bis ein Endlager fertig ist.	Japan hat ein grund- sätzliches Problem: Unter dem Land tref- fen gleich vier tekto- nische Platten auf ei- nander, so dass keine Gesteinsschicht eine Million Jahre Sicher- heit garantiert. Da Atomkraft seit Fuku- shima äußerst unpo- pular ist, gibt es keine Region, die bereit wäre, die strahlende Altlast aufzunehmen. Japans Atomindus- trie hat keine Idee, um das Problem zu lösen.
Anzahl der aktiven , im Bau befindlichen und endgültig stillgelegten Atomreaktoren (Stand 2019)					
hochradioaktiver Atommüll *	80 296 Tonnen abgebrannte Brennelemente (Juni 2017)	22 449 Tonnen abgebrannte Bren- nelemente und 18 640 Kubikmeter flüs- sige Abfälle (Ende 2016)	9 681 Tonnen abge- brannte Brennele- mente, 3 200 Kubik- meter flüssige Abfälle 14 555 Container mit verglasem Atommüll (Ende 2015)	17 000 Tonnen (bis Ende 2022)	889 Tonnen sowie 5 Kubikmeter flüssige Abfälle (März 2014)

10^{-4} von 17.000 t SM sind
immerhin 1,7 t SM, das in die
Umwelt emittiert werden darf?

b) & c) Emissionen

10^{-4} von ~ 20.000 t hochradioaktive Abfälle (Fachsprache Schwermetall=SM) sind immerhin **~ 2 t SM in 10^6 Jahren**, die in die Umwelt emittiert werden dürfen?

10^{-9} von ~ 20.000 t hochradioaktive Abfälle sind immerhin **~ 20 Gramm pro Jahr**, die in die Umwelt emittiert werden dürfen?

b) & c) Emissionen

Gibt es für die Aufnahme dieser Emissionswerte überhaupt eine Ermächtigung im Standortauswahlgesetz?

Antwort: Nein!

b) & c) Emissionen

Wusste das der Deutsche Bundestag, als er über das Standortauswahlgesetz abgestimmt hatte (Tongestein Felsgestein)?

Wird das von der örtlichen Bevölkerung rund um ein Endlager akzeptiert werden?

Werden damit die Zerfallsprodukte der Neptunium Zerfallsreihe zu einem ubiquitären Stoff, der in der Ost- und Nordsee landen?

Werden andere Länder das nachmachen und damit die Zerfallsprodukte der Neptunium Zerfallsreihe zu einem ubiquitären Stoff weltweit werden?

b) & c) Emissionen

³⁾ Megagramm Schwermetall (Mg SM) ist die Einheit der Schwermetallmasse und damit ein Maß für den Brennstoffgehalt (Uran und Plutonium) eines Brennelements.

Werden so niedrige
Anforderungen zu einer
allgemeinen Akzeptanz bei den
Betroffenen führen?

d) Problem der Dilatanzfestigkeit bzw. des Fluiddrucks

1. Der Begriff „*Dilatanzfestigkeit*“ wird in den Begriffsbestimmungen nicht definiert:
Dilatanz = Wegsamkeit in die Umwelt
Also Emissionspfad
2. Warum soll neben der Frage der Auswirkung von Fluiden nicht die von im Endlager eingeschlossenen **Gasen**, **also von Gasdrücken**, betrachtet werden?

d) Problem der Dilatanzfestigkeit bzw. des Fluiddrucks und Gasdrucks

Gasdruck:

1. Alphastrahler sind **Helium**quellen und erzeugen Gasdruck.
2. Radioaktive Strahlung zersetzt wasserstoffhaltige Materialien unter der Freisetzung von **Wasserstoff** (Radiolyse) und erzeugen Gasdruck.
3. Metall (Castoren etc.) werden durch Wasser, vor allem saline Wässer (Wasser mit gelösten Salzen, wie sie in tiefen geologischen Formationen allgegenwärtig sind) korrodiert. Dabei entsteht **Wasserstoff**, der Gasdruck erzeugt.
4. Bei der Korrosion bildet sich Rost, welcher ein **größeres Volumen** aufweist als das metallische Eisen, was die Dilatanzfestigkeit übersteigen kann.

d) Problem der Dilatanzfestigkeit bzw. des Fluiddrucks und Gasdrucks

Eingeschlossene Fluide, **Gase** und die **Volumenzunahme** von Castoren durch Korrosion beanspruchen die Dilatanzfestigkeit (Gibt es eine Dilatanzfestigkeit überhaupt? Ist Dilatanz vielmehr ein Verformungszustand, der zu Wegsamkeiten und damit Versagen der **Barriere führt**) der Barriere und können zum Versagen der Barriere führen.

Die Entwürfe der Verordnungen müssen konkreter gestaltet werden.

Heterogen werden (Grenz-) Werte (10^6 Jahre, 10^{-4} Massenanteil (bzw. 10^{-9} pro Jahr) an Inventar, das aus dem Endlager austritt und Begriffe wie Dilatanzfestigkeit etc. (teilweise ohne Erklärung) gestreut, anstatt allgemeinverständlich die Anforderungen konkret genug zu benennen.

Die Frage der Rückholbarkeit (§ 13) auch nach dem Verschluss (§ 14) stellen zweifellos die größte Gefahr für die Umwelt und die Menschen im Immissionsbereich dar.

Unter den korrosiven Bedingungen tiefer geologischer Formationen ist es einfach nicht durchführbar, hochradioaktive Abfälle rückzuholen.

Auch Castoren werden unter Gebirgsdruck in der Nachbetriebsphase garantiert undicht, was zu unbeherrschbaren Gefahren bei einer postulierten Rückholung führt.

Natürlich werden nachfolgende Generationen die Abfälle rückholen wollen, wenn diese mit 10-4 Massenanteil in die Umwelt austreten.

Diese „*Folien*“ können
Sie herunterladen unter
[https://drive.google.com
/open?id=1svQwoGI3Bu
wib-
iMvcyXDenJd8agwfgf](https://drive.google.com/open?id=1svQwoGI3Buwib-iMvcyXDenJd8agwfgf)

Ich Danke für
Ihre
Aufmerksamkeit!