

Agenda

| | |
|-----------|---|
| 16.00 Uhr | Begrüßung und Einführung durch die Moderatorin: Julia Fielitz (zebralog) Begrüßung durch das Planungsteam Forum Endlagersuche (PFE) Eva Bayreuther, PFE Dagmar Dehmer, BGE und PFE |
| 16.05 Uhr | Inhaltlicher Input zum Forschungsprojekt ElbRock (Behälterentwicklung im Kristallingestein) Marc Fritsche, GNS (im Auftrag der BGE) |
| 16.25 Uhr | Zwischenruf von Dr. Peter Klamser zum Thema Heliumentwicklung in den Behältern |
| 16.30 Uhr | Diskussion |
| 17.00 Uhr | Zwischenruf Jan Warode (BUND) |
| 17.15 Uhr | Antwort der BGE Dr. Sönke Reiche und Dr. Matthias Bauer (BGE) |
| 17.30 Uhr | Schlussdiskussion |
| 17.50 Uhr | Graphic Recording und eventuell Protokoll |
| 17.55 Uhr | Ende der Veranstaltung |



GNS



TEC

BGE TECHNOLOGY GmbH



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

2. FORUM ENDLAGERSUCHE

ELBRock – Entwicklung von Endlagerbehälterkonzepten
in kristallinem Wirtsgestein

GNS, BGE-TEC, BGE

Forumstage (online), 06.11.2023

ELBRock



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

01

ALLGEMEINE PROJEKTINFORMATIONEN

02

HAUPTAUFGABEN DER EINZELNEN PROJEKTPHASEN



ALLGEMEINE PROJEKTINFORMATIONEN

01

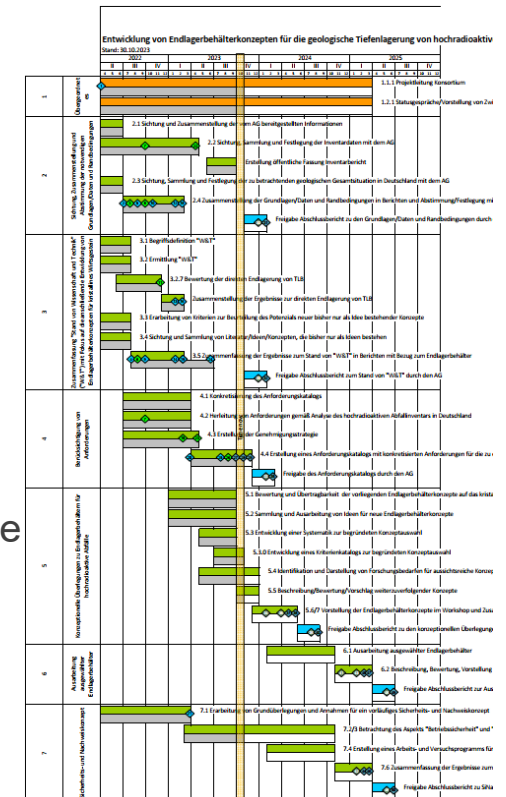
STECKBRIEF ELBRock




- **Projektziel:** Entwicklung von bis zu drei unterschiedlichen Endlagerbehälterkonzepten für die geologische Tiefenlagerung von hochradioaktiven Abfällen in kristallinem Wirtsgestein
- **Bearbeitendes Konsortium:** GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) und BGE TECHNOLOGY GmbH (BGE TEC)
- **Forschungsvolumen (netto):** 4.497.450,00 €
- **Projektlaufzeit:** April 2022 – März 2025 (36 Monate)

BEARBEITUNGSKONZEPT

- Phase 1: Übergeordnetes
- Phase 2: Sichtung, Zusammenstellung und Abstimmung der notwendigen Grundlagen/Daten und Randbedingungen
- Phase 3: Zusammenfassung „Stand von W&T“ mit Fokus auf die anschließende Entwicklung von Endlagerbehälterkonzepten für kristallines Wirtsgestein
- Phase 4: Berücksichtigung von Anforderungen
- Phase 5: Konzeptionelle Überlegungen zu Endlagerbehältern für hochradioaktive Abfälle
- Phase 6: Ausarbeitung ausgewählter Endlagerbehälter
- Phase 7: Sicherheits- und Nachweiskonzept





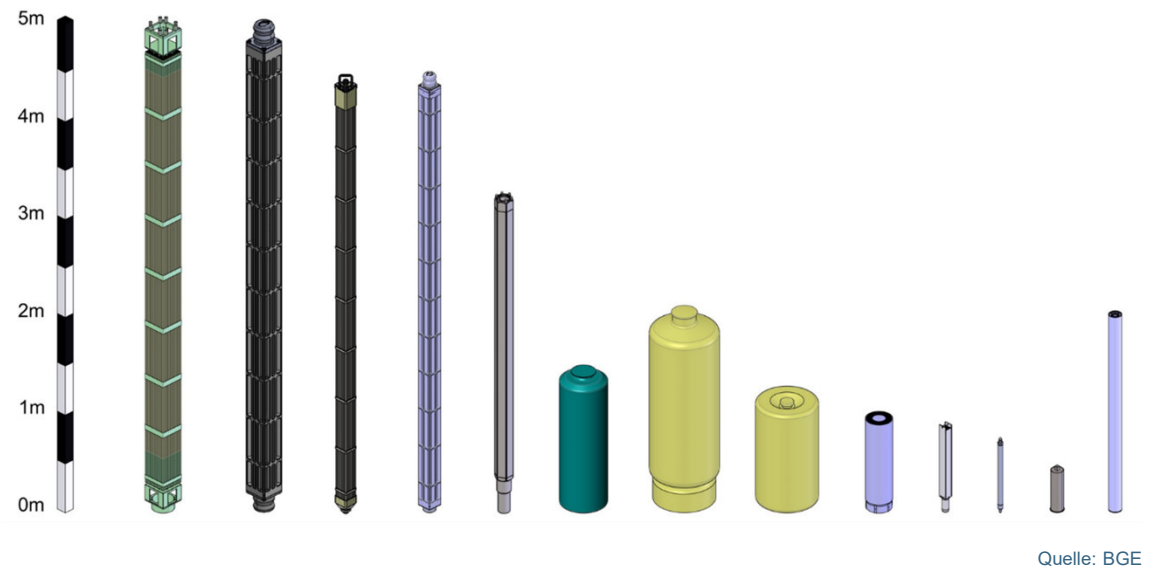
HAUPTAUFGABEN DER EINZELNEN PROJEKTPHASEN

02

PHASE 2

Sichtung, Zusammenstellung und Abstimmung der notwendigen Grundlagen/Daten und Randbedingungen

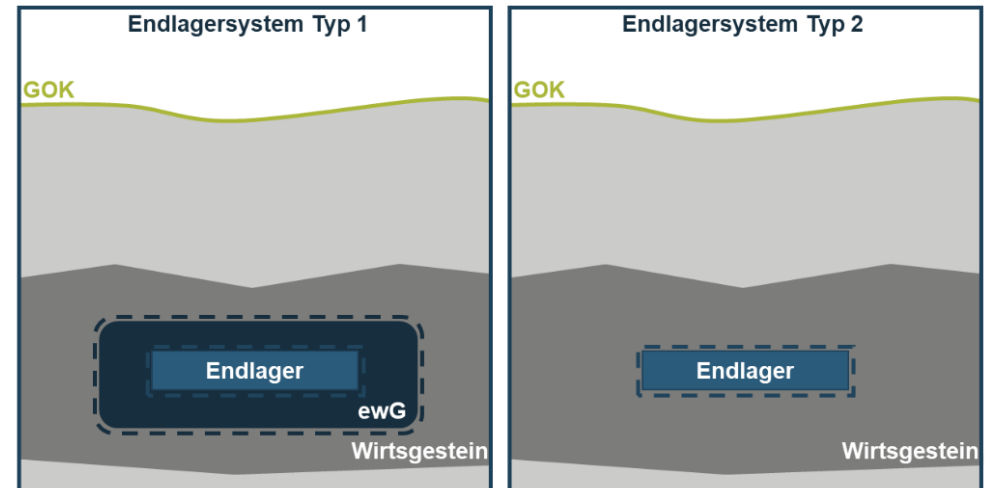
- Sichtung der von der BGE zur Verfügung gestellten Berichte
- Erarbeitung von Grundlagen zu geologischen Randbedingungen
- Sichtung und Auswertung einschlägiger FuE-Vorhaben zur Endlagerung in kristallinem Wirtsgestein in Deutschland
- Bereitstellung der Inventardaten durch das Konsortium



PHASE 3

Zusammenfassung von Wissenschaft und Technik

- Ermittlung des Stands von Wissenschaft und Technik für Endlager/-behälter
- Erarbeitung möglicher Werkstoffe für einen ELB und Beschreibung ihrer grundlegenden Korrosionseigenschaften
- Sammlung von Konzeptideen, die aber noch nicht dem Stand von W&T entsprechen
- Bewertung der direkten Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern (TLB)



Vereinfachte graphische Darstellung der nach § 4 Absatz 3 EndlSiAnfV genannten Möglichkeiten zum Erreichen des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle im Bewertungszeitraum.

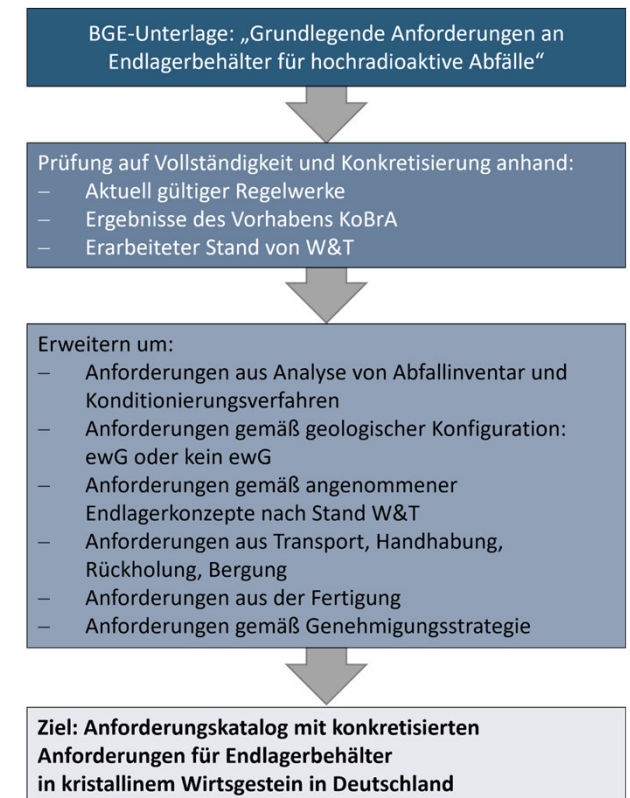
Quelle: BGE 2022b

PHASE 4

Berücksichtigung von Anforderungen

- Prüfung und Weiterentwicklung der BGE-Unterlage „Grundlegende Anforderungen an Endlagerbehälter für hochradioaktive Abfälle“
- Überprüfung der Anwendbarkeit der im FuE-Vorhaben KoBrA entwickelten Methodik zur Herleitung von Anforderungen
- Screening der aktuell zu berücksichtigenden Gesetze und Regelwerke
- Dokumentation des Vorgehens zur Ableitung des Anforderungskatalogs

Ziel: Erstellung eines Anforderungskatalogs an den ELB im Kristallin der den aktuellen Stand der Gesetze und Regelwerke sowie zusätzliche Festlegungen aus dem Projekt abbildet

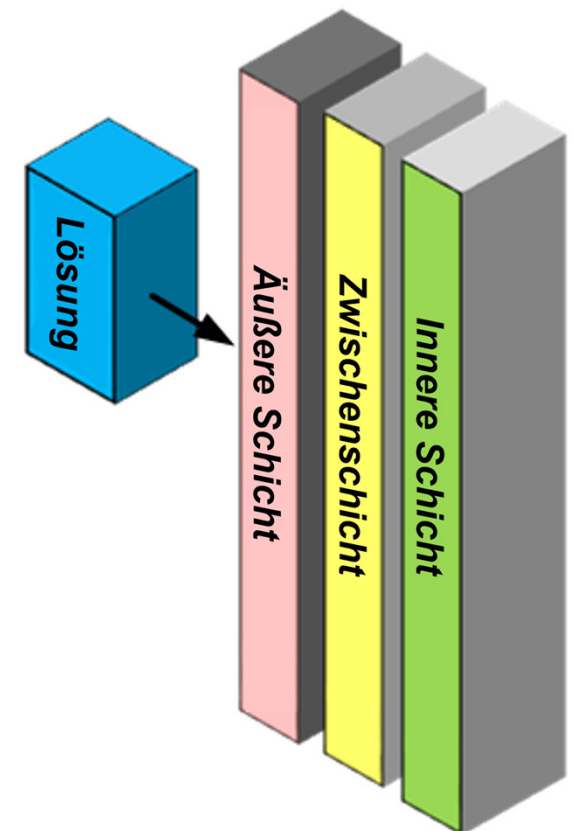


PHASE 5

Konzeptionelle Überlegungen

- Die zu identifizierenden ELB-Konzepte sollten hinsichtlich der Materialauswahl vollständig und wertneutral sein
- Die Reduzierung und Bewertung erfolgt nach transparenten Kriterien
- Bewertung der prognostizierten Leistungsfähigkeit der ELB-Konzepte erfolgt im Rahmen einer Nutzwertanalyse
- Nutzung von Gewichtungsfaktoren, um eine Unterscheidung zwischen den Kriterien zu ermöglichen

Ziel: Auswahl von bis zu drei weiter zu detaillierenden ELB-Konzepten



Quelle: BGE

PHASE 6

Ausarbeitung ausgewählter Endlagerbehälter

Schutzziele:

- Sicherer Einschluss des radioaktiven Inventars
- Sicherstellung der Unterkritikalität
- Sichere Abfuhr der Nachzerfallswärme
- Abschirmung der Strahlung

Ziel: Konstruktive Detaillierung und fachgebietsspezifische Ausarbeitung der bis zu drei in Phase 5 ausgewählten ELB-Konzepte



Quelle: BGE

PHASE 7

Sicherheits- und Nachweiskonzept → Betriebssicherheit

- Analyse der spezifischen Abläufe an den verschiedenen Orten und Abfertigungsphasen in Bezug auf die Schnittstellen und das Handhabungsequipment
- Festlegung der im Rahmen der Störfallanalyse zu betrachtenden abdeckenden Auslegungsanforderungen
- Identifikation geeigneter Regelwerke, auf deren Basis Nachweise geführt werden können
- Führen von exemplarischen Nachweisen (z. B. mechanische Stabilität)

Ziel: Sicherstellung der Betriebssicherheit der ELB bei normalen Betriebsabläufen als auch bei Störfällen

PHASE 7

Sicherheits- und Nachweiskonzept → Langzeitsicherheit

- Bewertung von dem Endlagerbehälterverhalten und der Schnittstelle zu den geologischen und geotechnischen Wechselwirkungen.
- Durchführung von grundsätzlichen Überlegungen zur Vorbereitung eines Nachweiskonzeptes (z. B. mechanische Stabilität, Dichtheit vom Endlagerbehälter als technische Barriere)
- Identifikation geeigneter Regelwerke auf deren Basis Nachweise geführt werden können
- Beschreibung, wie Nachweise rechnerisch bzw. numerisch geführt werden können
- Identifikation von Erprobungsbedarfen, um die mechanischen Nachweise oder die Nachweise zur Korrosionsbetrachtung zu untermauern.

ABKÜRZUNGEN

| | |
|-------------------|---|
| BGE | Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH |
| BGE-TEC | BGE TECHNOLOGY GmbH |
| ELB | Endlagerbehälter |
| EndlSiAnfV | Endlagersicherheitsanforderungsverordnung |
| ewG | einschlusswirksamer Gebirgsbereich |
| FuE | Forschung und Entwicklung |
| GOK | Geländeoberkante |
| GNS | GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH |
| KoBrA | Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen |
| TLB | Transport- und Lagerbehälter |
| W&T | Wissenschaft & Technik |

LITERATUR

- EndlSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)
- BGE (2022b): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_Anlage_zu_rvSU_Konzept_Methodenbeschreibung_barrierefrei.pdf



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

GNS, BGE-TEC, BGE

www.bge.de
www.einblicke.de



Die Newsletter der BGE

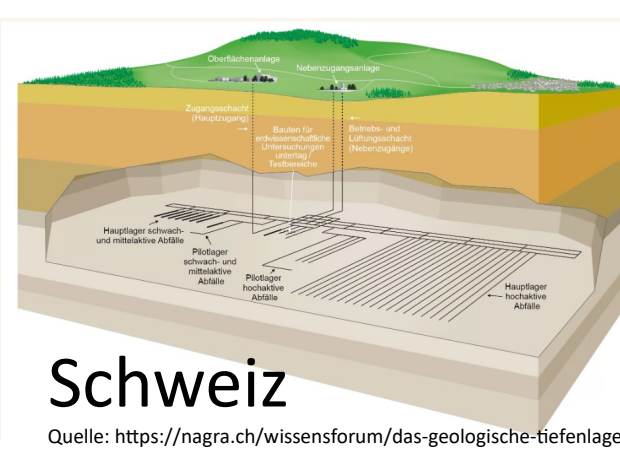
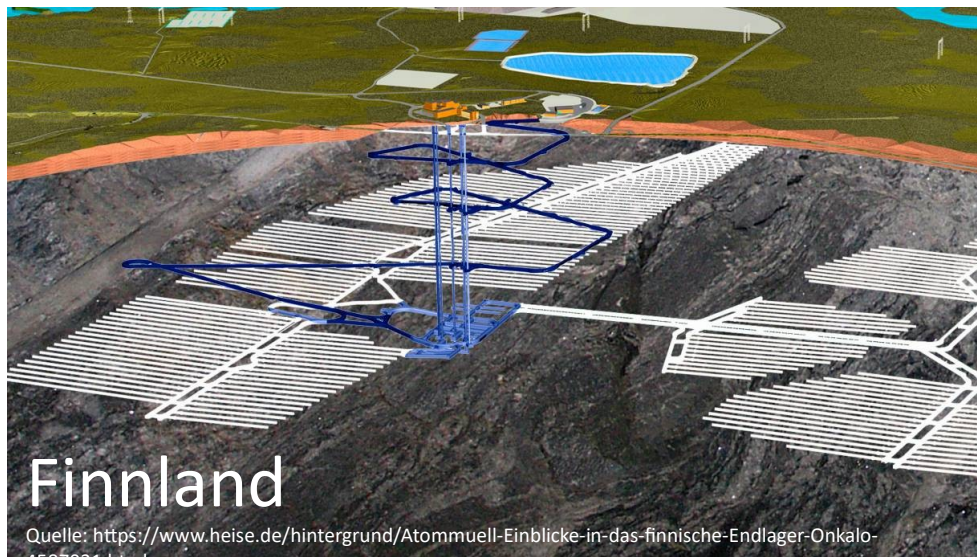


Das ist die Präsentation die ich zeigen will.

Attribution-NonCommercial-ShareAlike

BY-NC-SA





Die Endlagerkonzepte in Finnland, Schweden und der Schweiz zeigen, dass **auf eine geplante niedrige Leistungsdichte kein Wert gelegt wird**. Folglich werden **extrem hohe Temperaturen im Zentrum** herrschen und auch der Granit oder der Tonstein wird sich im Zentrum ausdehnen was zu Spannungsrissen und damit verbunden zu auch induzierten Gebirgsschlägen. **Die Risse werden Kluftwasser den Zutritt ins Endlager ebnen**. Durch die extrem hohen Temperaturen werden die Endlagerbehälter platzen und hoch radioaktiver Feinstaub wird das Endlager kontaminieren und in die Ostsee, die Nordsee und den Rhein gelangen.



Vorbemerkung:

Mit diesem Vortrag gebe ich der interessierten Öffentlichkeit ein relativ einfaches Werkzeug an die Hand zu beurteilen, ob die Planungen der BGE sinnvoll sind:

Das ist dann der Fall, wenn in den Endlagerbehältern kein zu hoher Gasdruck (Heliumdruck) wegen
+ einer zu hohen Masse an Helium,
+ einem zu geringen freien Volumen für das Helium und
+ einer zu hohen Temperatur im Endlagerbehälter herrscht.

Dazu wird das Gasgesetz für Helium und das Gesetz für die Wärmeleitung angewandt.

Dafür wird eine relativ einfache Gleichung hergeleitet, die nur mit der Addition und der Multiplikation auskommt, also keine Differentialgleichungen gelöst werden müssen.

Im Rahmen des
Transparenzgebotes muss
allerdings die BGE einige Daten zu
Verfügung stellen, damit die
Öffentlichkeit prüfen kann, ob die
Planungen sinnvoll sein könnten.
Will sie das?

Ende der Vorbemerkungen!

Die Zeit läuft also nicht!

Keine Angst:

Ich werde mich kurz fassen!

Was in einem Endlager nicht geschehen darf:

Es darf

- kein Wasser eindringen,
- kein Feuer entstehen,
- kein Kritikalitäts-Ereignis auftreten,
- kein **Behälterversagen** auftreten weil...,
- kein Barriere Versagen auftreten und
- keine geologischen Überraschungen (Störungszonen etc...).

1.

Warum
Endlagerbehälter dicht
geschweißt werden
müssen...

Quelle im Folgenden, wenn nicht anders benannt: <https://www.cea.fr/multimedia/Pages/editions/monographies-nucleaire.aspx>

1.: Warum Endlagerbehälter dicht geschweißt werden müssen...

Der Zerfall von radioaktiven Isotopen stellt eine 3D Korrosion dar, die wie Rost nicht nur an der Oberfläche sondern gleichzeitig im gesamten betroffenen Volumen stattfindet.

A) Es entsteht **Partikelstrahlung wie Helium4 2+ Radiakale beim Alpha Zerfall:**

Helium 4 ist an sich ungefährlich, es sei denn

+ es fliegt fast mit 1 bis 10% der Lichtgeschwindigkeit und

+ es erzeugt Gasdruck, so dass der Endlagerbehälter explodiert.

B) Es entstehen auch **strahlende Partikel**

Durch den Alpha Zerfall entsteht spontan intrakristallin das Gas Helium4 und zerstört dabei durch seinen Gasdruck Kristalle zu einem radioaktiven lungengängigen Feinststaub von **4 µm** und kleiner, eben die **strahlenden Partikel**, die Lungengängig und elektrostatisch aufgeladen sind.

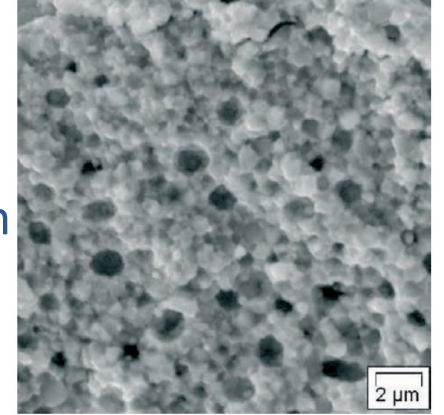


Fig. 17. Microstructure of restructured fuel (HBS). The initial grains, about 10 microns across, have been replaced by submicrometer grains, and fission gas bubbles have formed.

Intrinsic evolution of the pellet

Evolution of the irradiated fuel pellet essentially occurs under the effect of the radioactive decay of emitters present within it, resulting in an alteration of chemical inventories, and significant production of helium, due to **alpha*** decay.

To give an indication of the amounts involved, if all the helium generated within the fuel were released, this would result in an overpressure of about 125 bars in MOX fuel, 19 bars, at 19° C, in UOX fuel, after 300 years of cooling time.

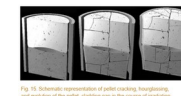
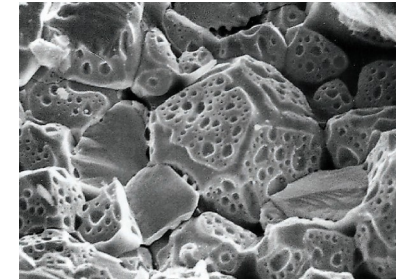


Fig. 18. Schematic representation of a fuel pellet showing the evolution of the gas-producing gap in the center of irradiation.

1.: Warum Endlagerbehälter dicht geschweißt werden müssen...

Der Zerfall von radioaktiven Isotopen stellt eine 3D Korrosion dar, die wie Rost nicht nur an der Oberfläche sondern gleichzeitig im gesamten betroffenen Volumen stattfindet.

A) Es entsteht **Partikelstrahlung wie Helium4 2+ Radiakale** beim Alpha Zerfall:

Helium 4 ist an sich ungefährlich, es sei denn

+ es fliegt fast mit 1 bis 10% der Lichtgeschwindigkeit und

+ es erzeugt Gasdruck, so dass der Endlagerbehälter explodiert.

B) Es entstehen auch **strahlende Partikel**

Durch den Alpha Zerfall entsteht spontan intrakristallin das Gas Helium4 2+ und zerstört dabei durch seinen Gasdruck Kristalle zu einem radioaktiven lungengängigen Feinststaub von **4 µm** und kleiner, eben die **strahlenden Partikel**, die Lungengängig und elektrostatisch aufgeladen sind.

Ein Lungen gängiges Staubkorn enthält etwa 10^{10} oder mehr Moleküle Kernbrennstoff und ist deswegen auch hochtoxisch und eigentlich tödlich in seiner Wirkung.

Deswegen kann nur in Heißen Zellen mit Kernbrennstoffen umgegangen werden.

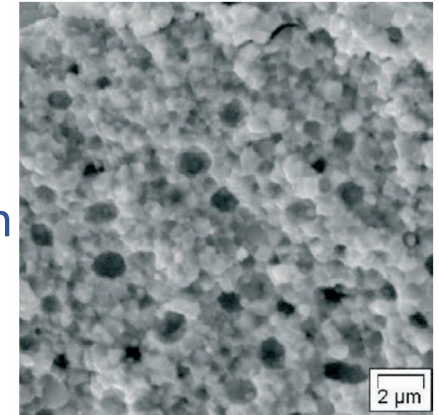
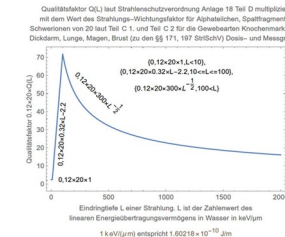


Fig. 17. Microstructure of restructured fuel (HBS). The initial grains, about 10 microns across, have been replaced by submicrometer grains, and fission gas bubbles have formed.

Intrinsic evolution of the pellet

Evolution of the irradiated fuel pellet essentially occurs under the effect of the radioactive decay of emitters present within it, resulting in an alteration of chemical inventories, and significant production of helium, due to **alpha*** decay.

To give an indication of the amounts involved, if all the helium generated within the fuel were released, this would result in an overpressure of about 125 bars in MOX fuel, 19 bars, at 19° C, in UOX fuel, after 300 years of cooling time.

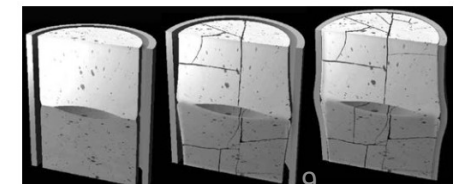
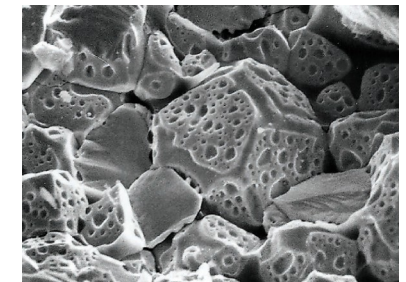


Fig. 15. Schematic representation of pellet cracking, hourglassing, and evolution of the pellet-cladding gap in the course of irradiation.

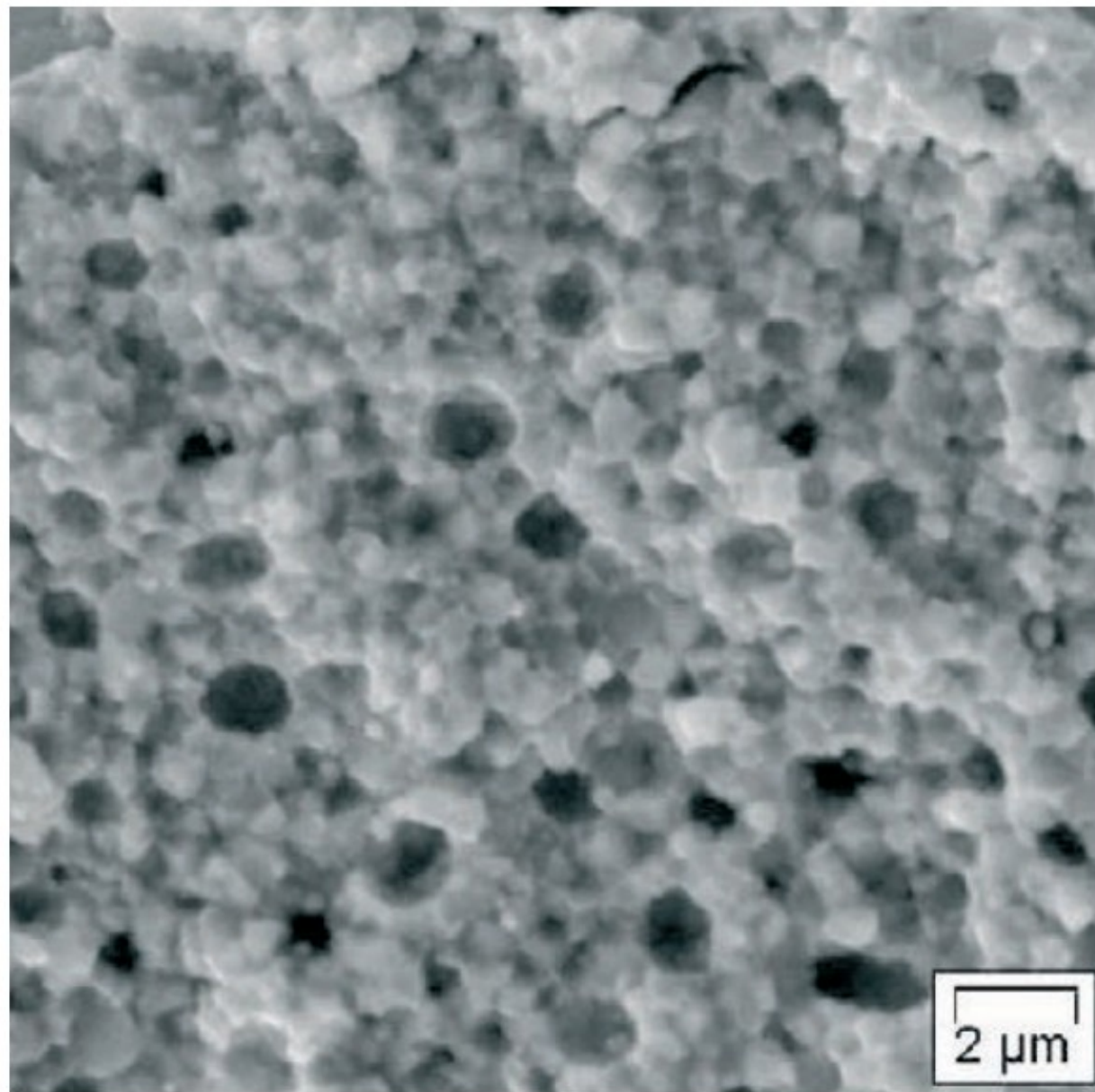


Fig. 17. Microstructure of restructured fuel (HBS). The initial grains, about 10 microns across, have been replaced by submicrometer grains, and fission gas bubbles have formed.

Intrinsic evolution of the pellet

Evolution of the irradiated fuel pellet essentially occurs under the effect of the radioactive decay of emitters present within it, resulting in an alteration of chemical inventories, and significant production of helium, due to **alpha*** decay.

To give an indication of the amounts involved, if all the helium generated within the fuel were released, this would result in an overpressure of about 125 bars in MOX fuel, 19 bars, at 19° C, in UOX fuel, after 300 years of cooling time.

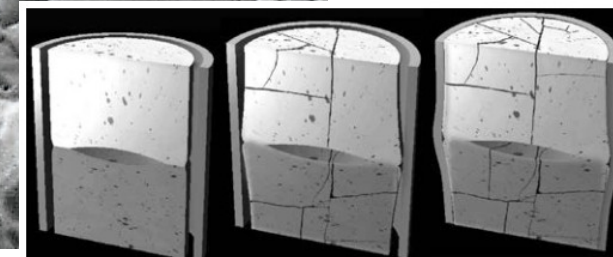
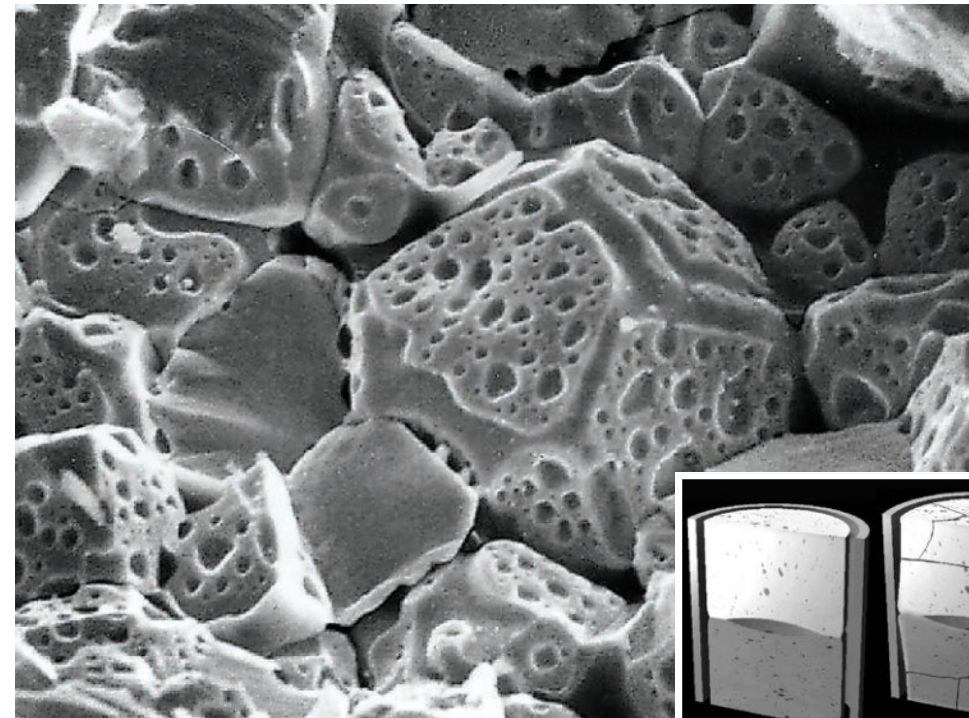
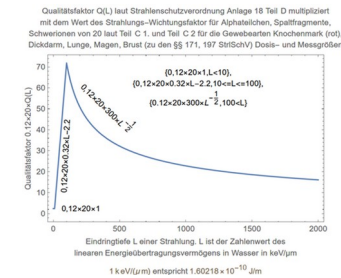
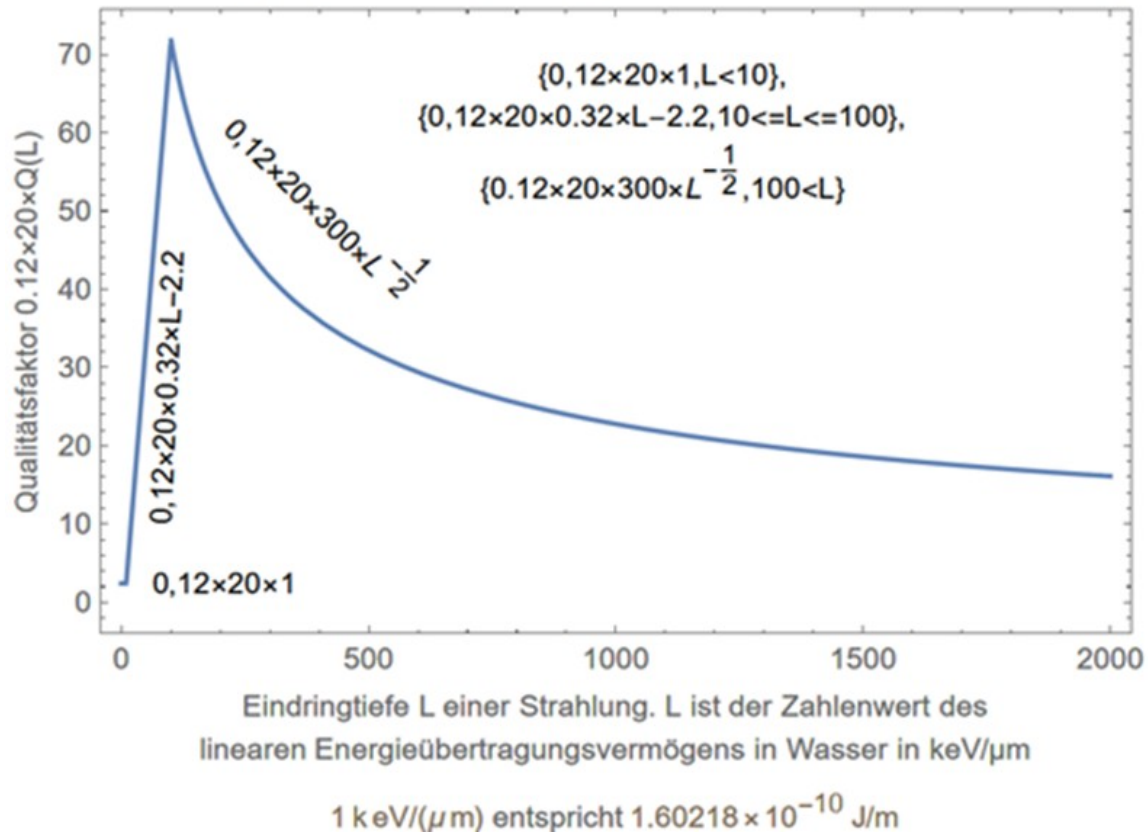


Fig. 15. Schematic representation of pellet cracking, H₂ degassing, and evolution of the pellet-cladding gap in the course of irradiation.

1.: Warum Endlagerbehälter dicht geschweißt werden müssen...

Partikelstrahlung:

Qualitätsfaktor $Q(L)$ laut Strahlenschutzverordnung Anlage 18 Teil D multipliziert mit dem Wert des Strahlungs-Wichtungsfaktor für Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen von 20 laut Teil C 1. und Teil C 2 für die Gewebearten Knochenmark (rot), Dickdarm, Lunge, Magen, Brust (zu den §§ 171, 197 StrlSchV) Dosis- und Messgrößen



Intrinsic evolution of the pellet

Evolution of the irradiated fuel pellet essentially occurs under the effect of the radioactive decay of emitters present within it, resulting in an alteration of chemical inventories, and significant production of helium, due to **alpha*** decay.

To give an indication of the amounts involved, if all the helium generated within the fuel were released, this would result in an overpressure of about 125 bars in MOX fuel, 19 bars, at 19°C , in UOX fuel, after 300 years of cooling time.

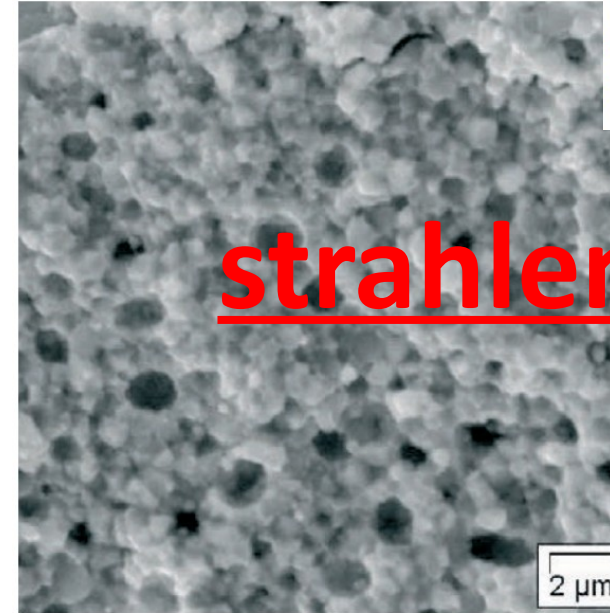


Fig. 17. Microstructure of restructured fuel (HBS). The initial grains, about 10 microns across, have been replaced by submicrometer grains, and fission gas bubbles have formed.

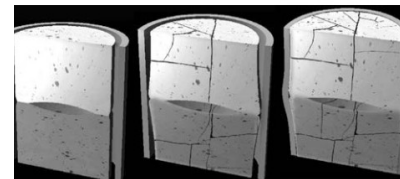
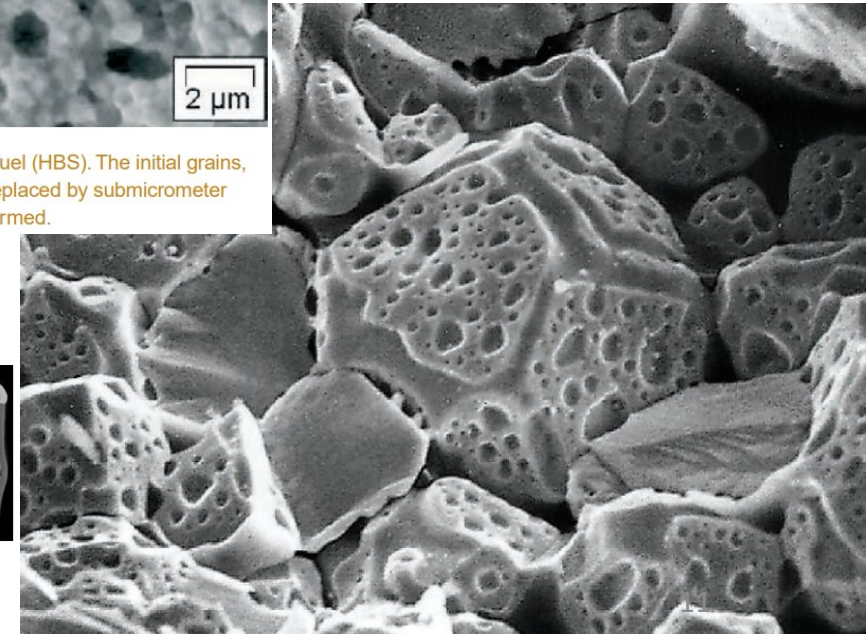


Fig. 15. Schematic representation of pellet cracking, hourglassing, and evolution of the pellet-cladding gap in the course of irradiation.



strahlende Partikel

Deswegen kann mit abgebrannten Brennelementen nur in heißen Zellen umgegangen werden...



1.: Warum Endlagerbehälter dicht geschweißt werden müssen? Darum ist das so...

Um tödliche Verletzungen durch diese Alveolen gängige hochradioaktive Partikel zu vermeiden, müssen diese im Endlagerbehälter durch das Verschweißen dicht eingeschlossen werden und dürfen auf keinen Fall im Endlagerbetrieb, bei der Bergung von Endlagerbehältern oder bei der Rückholung freigesetzt werden.

Werden diese trotzdem freigesetzt dann kann das Endlager wahrscheinlich nicht mehr betreten werden und eine planmäßige Schließung ist wahrscheinlich nicht mehr möglich.

Druck im Endlagerbehälter

Je nach Quelle

zwischen
(Schätzungen)
bar

Es ist völlig unsinnig solche Angaben

- ohne die Nennungen der Masse an Helium4,
- des Volumens, das dem Helium zur Verfügung steht und
- ohne die Nennung der Temperatur im Endlagerbehälter zu machen.

Wichtig
Plan
Behälter
Druck
das
wird hiermit
umrissen...

Intrinsic evolution of the pellet

...iated fuel pellet essentially occurs under
...active decay of emitters present within it,
...ation of chemical inventories, and signifi-
...helium, due to **alpha*** decay.

...of the amounts involved, if all the helium
...fuel were released, this would result in
...an overpressure of about **125 bars** in MOX fuel, 19 bars, at
19° C, in UOX fuel, after 300 years of cooling time.

2.

Warum die
Endlagerbehälter
explodieren können...

2.: Warum Diese dann explodieren können...

Ich stelle ein **vereinfachtes Modell** vor, damit berechnet werden kann mit welchen Temperaturen auf dem Endlagerhorizont zu rechnen ist. Wenn die **Temperatur**, das **freie Volumen** im Endlagerbehälter und die **Masse an Helium 4** bekannt ist kann der **Druck** im Endlagerbehälter berechnet werden. **Hoffentlich ist der Endlagerbehälter darauf ausgelegt, diesem Druck standzuhalten, was ich aber nicht glaube, da bis jetzt nicht bekannt ist, dass ein Auslegungsdruck vorgegeben wird.** Mit der folgenden Gleichung wird die benötigte Fläche für das Endlager unterschätzt. **In der Realität ist mit noch höheren Temperaturen zu rechnen.**

2.: Warum Diese dann explodieren können...

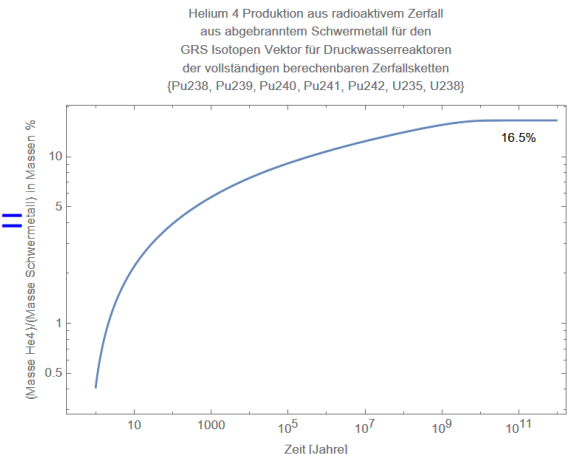
Der (Auslegungs-) Druck im Endlagerbehälter wird mit dem speziellen Gasgesetz berechnet:

$$p V = m R T$$

$$p_{\text{He4}} V_{\text{freies Volumen im Endlagerbehälter}} = m_{\text{He4}} R_{\text{He4}} T_{\text{im freien Volumen im Endlagerbehälter}}$$

$$m_{\text{He4}} = \eta_{\text{He4}} [t] m_{\text{SM}}$$

$$\eta_{\text{Helium}}[t] =$$



2.: Warum Diese dann explodieren können...

Ferner muss der Wärmeleistungsstrom im Endlager bekannt sein

$$\lambda = \frac{z \left(\dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallwärmeleistung}} [\text{t}] \right)}{A \Delta T} = \frac{\dot{Q}_{\text{Erdwärme}}}{A T' [z]}$$

Temperaturunterschied durch
die geothermische Wärmeleistung
und die Zerfallswärmelleistung

spielt hier die Fläche des Endlagers A und die
Wärme aus der Zerfallswärmeleistung & dem Energieeint

$$\left(\dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallwärmeleistung}} [\text{t}] \right)$$

durch die Erdwärme sowie die Tiefe z
eine Rolle.

2.: Warum Diese dann explodieren können...

Das Gleichungssystem lautet dann:

| |
|--|
| $T_z == z T' [z]$ |
| $p V == T m_{\text{He4}} R_{\text{He4}}$ |
| $T == 273.15 + \Delta T$ Temperaturunterschied durch die geothermische Wärmeleistung und die Zerfallswärmeleistung |
| $m_{\text{He4}} == m_{\text{SM}} \eta_{\text{He}} [t]$ |
| $\lambda == \frac{z (\dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallw\u00e4rmeleistung}} [t])}{A \Delta T}$ Temperaturunterschied durch die geothermische Wärmeleistung und die Zerfallswärmeleistung $== \frac{\dot{Q}_{\text{Erdw\u00e4rme}}}{A T' [z]}$ |
| $\dot{Q}_{\text{SM-Zerfallw\u00e4rmeleistung}} [t] == m_{\text{SM}} \theta [t]$ |

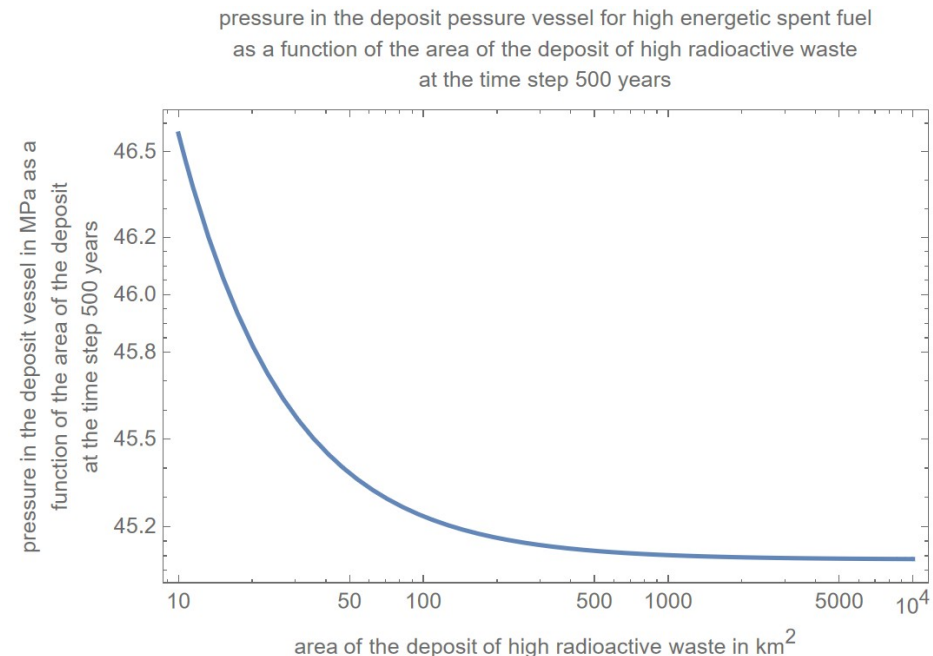
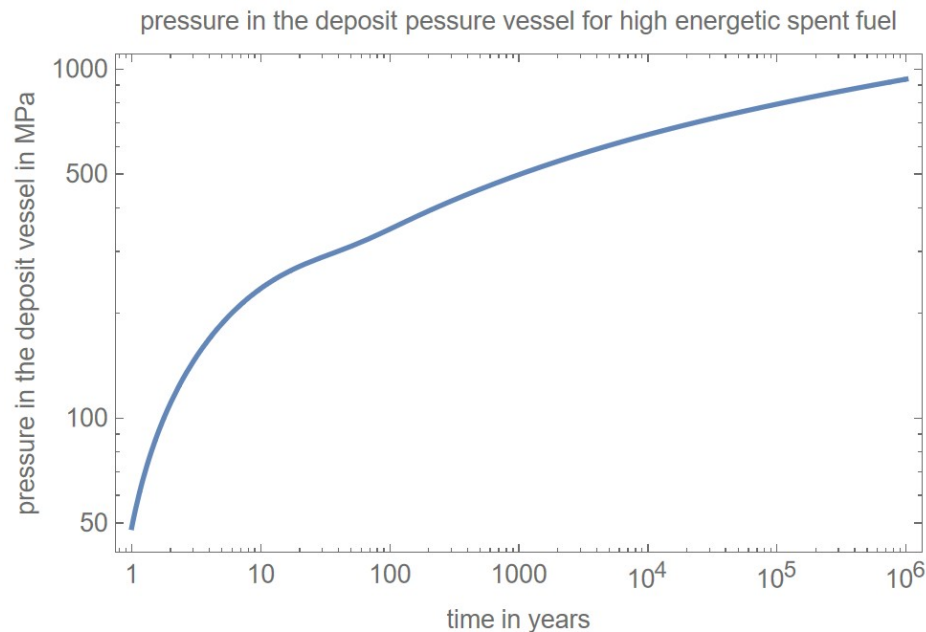
2.: Warum Diese dann explodieren können...

| Gleichungen für die Wärmeleitung durch die geothermische Wärmeleistung und die radioaktive Zerfallswärmeleistung | |
|--|--|
| Temperatur auf dem Endlagerniveau in der Teufe z | $T_z = z T' [z] = \text{Geothermischeteufenstufe } z$ |
| spezilles Gasgesetz für Helium4 | $p_{\text{He4 zulässig}} V_{\text{He4}} = m_{\text{He4}} R_{\text{He4}} T_{\text{Endlagerbehälter He4 im}}$ |
| Summe der Temperaturen im Endlagerniveau | $T_{\text{Endlagerbehälter He4 im}} = 273.15 + \Delta T$ Temperaturunterschied durch die geothermische Wärmeleistung und die Zerfallswärmelseitung |
| Masse an He ₄ als Funktion der Zeit t | $m_{\text{He4}} = m_{\text{SM}} \eta_{\text{He}} [t]$ |
| Gleichungen für die Wärmeleitung durch die Geothermie und die radioaktive Zerfallswärmeleistung | $\lambda = \left(z \left(\dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallswärmeleistung}} [t] \right) \right) / \left(A \Delta T \text{ Temperaturunterschied durch} \right. \\ \left. \text{die geothermische Wärmeleistung} \right. \\ \left. \text{und die Zerfallswärmelseitung} \right) = \frac{\dot{Q}_{\text{Erdwärme}}}{A T' [z]}$ |
| Wärmeleistung aus dem radioaktiven Zerfall zum Zeitpunkt t | $\dot{Q}_{\text{SM-Zerfallswärmeleistung}} [t] = m_{\text{SM}} \theta [t]$ |
| Lösungen für das Gleichungssystem $\Rightarrow 273.15 + \lambda m_{\text{SM}} R_{\text{He4}} \eta_{\text{He}} [t] = p_{\text{zulässig}} V_{\text{He4}} \lambda - \frac{z m_{\text{SM}} R_{\text{He4}} \dot{Q}_{\text{Erdwärme}} \eta_{\text{He}} [t]}{A} - \frac{z m_{\text{SM}}^2 R_{\text{He4}} \theta [t] \eta_{\text{He}} [t]}{A}$ | |
| Nach Elimination der folgenden Variablen | lässt sich das Gleichungssystem wie folgt nach den Parametern V_{frei} , p und T auflösen |
| $\{\Delta T, m_{\text{He4}}, \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallswärmeleistung}} [t], T, T_z, T' [z]\}$ | $V_{\text{frei}} = \frac{1}{A p \lambda} m_{\text{SM}} R_{\text{He4}} \left(273.15 A \lambda + z \dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + z m_{\text{SM}} \theta [t] \right) \eta_{\text{He}} [t]$ |
| $\{\Delta T, m_{\text{He4}}, \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallswärmeleistung}} [t], T, T_z, T' [z]\}$ | $p = \frac{273.15 m_{\text{SM}} R_{\text{He4}} \eta_{\text{He}} [t]}{V_{\text{frei}}} + \frac{z m_{\text{SM}} R_{\text{He4}} \dot{Q}_{\text{Erdwärme}} \eta_{\text{He}} [t]}{A \lambda V_{\text{frei}}} + \frac{z m_{\text{SM}}^2 R_{\text{He4}} \theta [t] \eta_{\text{He}} [t]}{A \lambda V_{\text{frei}}}$ |
| $\{\Delta T, m_{\text{He4}}, \dot{Q}_{\text{SM-Zerfallswärmeleistung}} [t], V, T_z, T' [z]\}$ | $T = 273.15 + \frac{z m_{\text{SM}} \theta [t]}{A \lambda} + z T' [z] = 273.15 + \frac{z \dot{Q}_{\text{Erdwärme}}}{A \lambda} + \frac{z m_{\text{SM}} \theta [t]}{A \lambda} \quad 20$ |

2.: Warum Diese dann explodieren können...

Die Gleichung für den Druck im Endlagerbehälter lautet dann:

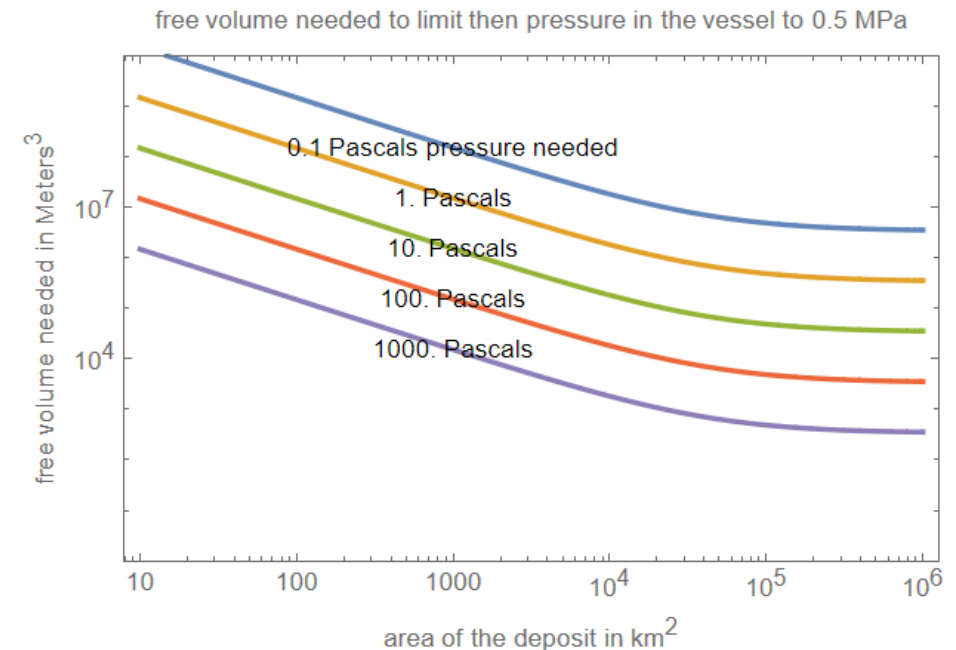
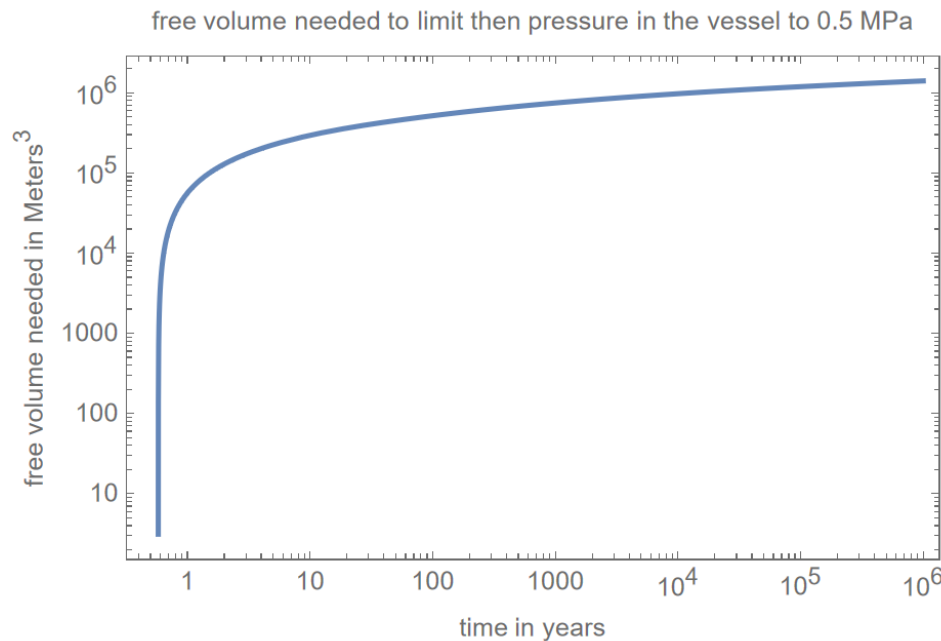
$$p = \frac{m_{SM} R_{He4} \left(273.15 A \lambda + z \dot{Q}_{Erdwärme} + z m_{SM} \theta[t] \right) \eta_{He}[t]}{A V \lambda}$$



2.: Warum Diese dann explodieren können...

Die Gleichung für das erforderliche freie Volumen lautet dann:

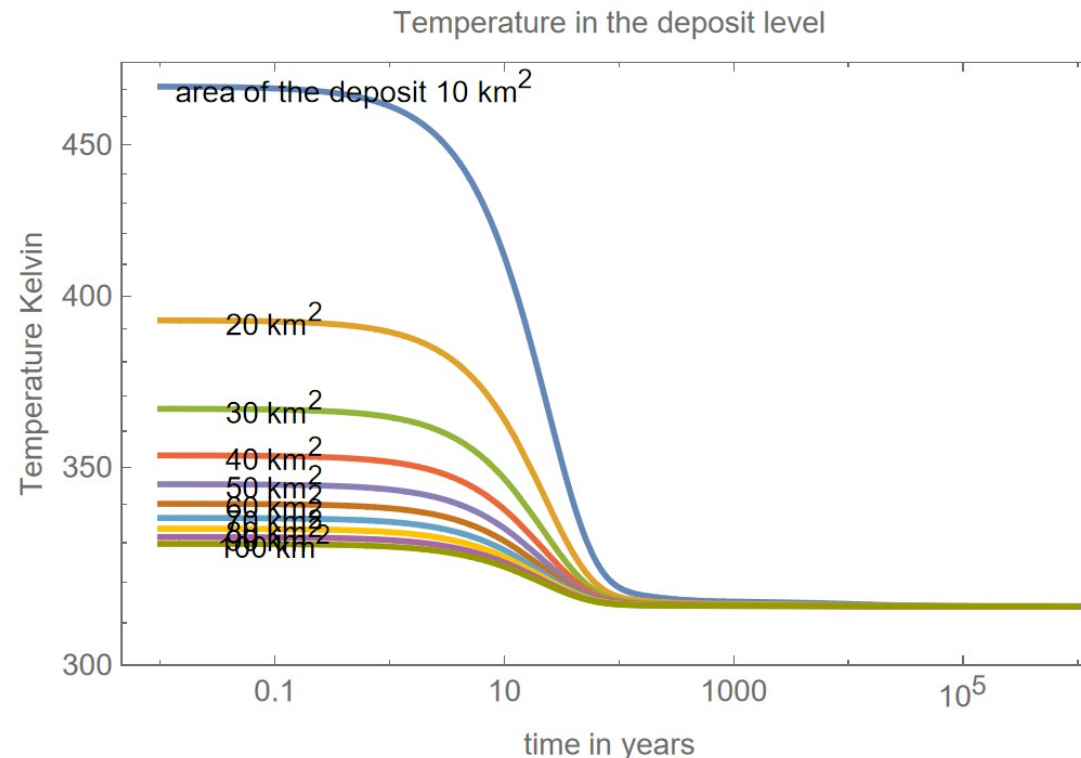
$$V = \frac{m_{SM} R_{He4} \left(273.15 A \lambda + z \dot{Q}_{Erdwärme} + z m_{SM} \theta [t] \right) \eta_{He} [t]}{A p \lambda}$$



2.: Warum Diese dann explodieren können...

Die Gleichung für die Temperatur im Endlager lautet dann:

$$T = \frac{273.15 A \lambda + z \dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + z m_{\text{SM}} \theta [t]}{A \lambda}$$



2.: Warum Diese dann explodieren können...

Nun können die Größenordnungen

- der Grundfläche A für das Endlager,
- das vorzuhaltende frei Volumen V im Endlagerehälter zu Speicherung des Heliums und
- die erforderliche Druckfestigkeit p der Endlager Behälter bestimmt werden.

Ziel ist es zu verhindern, dass Alveolen gängiger Staub aus den platzenden Endlagerbehältern wegen einer Drucküberlastung austritt und das Endlager unbetretbar macht.

2.: Warum Diese dann explodieren können...

Mit diesen Gleichungen ist es nur möglich die Größenordnung der charakteristischen Werte eines Endlagers für stark Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle abzuschätzen.

In der Realität ist in und um die Endlagerbehälter mit erheblich höhere Leistungsdichten zu rechnen weswegen dann der Auslegungsdruck der Endlagerbehälter weiter zu erhöhen ist und oder auch das freie Volumen.

Schlussfolgerungen...

1. Endlagerbehälter müssen dicht sein, da sonst elektrostatisch aufgeladene **ultragefährliche strahlende Partikel die nie außerhalb einer heißen Zelle auftreten oder austreten dürfen**, bei einem Versagen der Hülle durch Heliumdruck oder Gebirgsdruck austreten werden, die das Betreten des Endlagers unmöglich machen werden.

Das wäre neben einem Wasserzutritt und Feuer und Kritikalität die maximal mögliche Höchstgefahr für das Endlager.

2. Es ist erforderlich, dass am Anfang der Endlagersuche die Frage geklärt wird, mit welcher

- **Zerfallswärmeleistung** als Funktion der Zeit

- **Masse an Helium 4** als Funktion der Zeit

zu rechnen ist und daraus schlussfolgernd mit

Die BGE rechnet selber mit höheren Temperaturen, da sie erörtern will welche Auswirkung Temperaturen an der Oberfläche der Behälter von >100°C auf den Bentonit etc. haben werden.

- **wie groß die Endlagerfläche** sein muss und **welche Temperatur im Endlagerbehälter** herrschen wird,

- welche **Druckfestigkeit der Endlagerbehälter** aufweisen muss und

- welches **freie Volumen für die Speicherung des Helium4** vorgehalten werden muss.

$$P_{\text{Auslegungsdruck Endlagerbehälter}} \geq P_{\text{tatsächlich im Endlagerbehälter}} = \frac{m_{\text{He4}}}{V_{\text{He4}}} R_{\text{He4}} T_{\text{He4}}$$

erfüllt werden und es **muss die Ermittlung dieser Kennzahlen am Anfang des Standortauswahl stehen!!!**

Schlussfolgerungen...

1. Endlagerbehälter müssen dicht sein, da sonst elektrostatisch aufgeladene **ultragefährliche strahlende Partikel die nie außerhalb einer heißen Zelle auftreten oder austreten dürfen**, bei einem Versagen der Hülle

durch
werd

Das v

Endla

2. Es

- Ze

- Ma

zu re

- wi

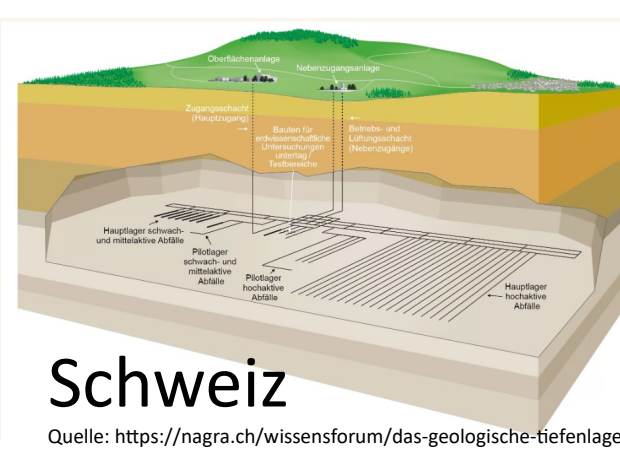
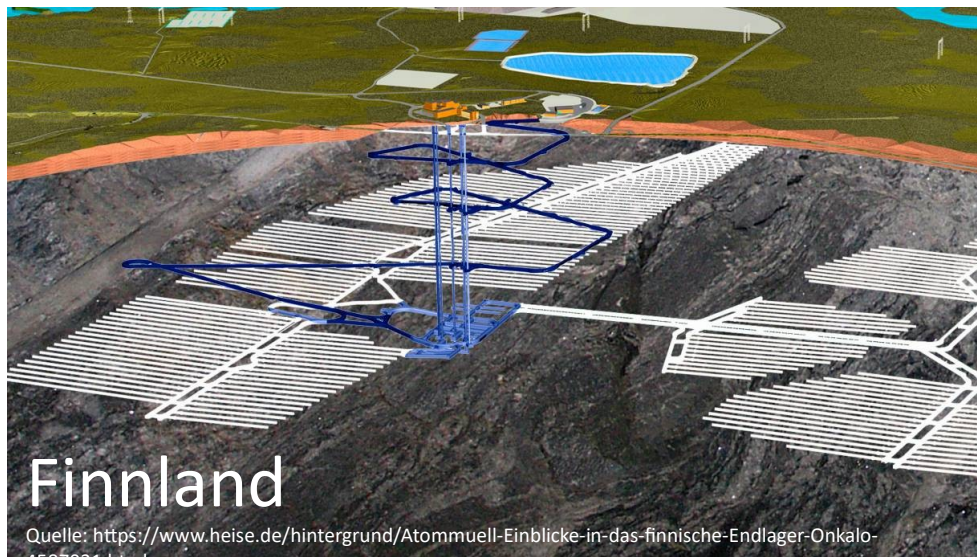
- we

- we

P_{Aus}

Mit der Endlagergleichung kann
jeder die Sinnhaftigkeit der Planung
der BGE überprüfen, wenn die BGE
die Parameter veröffentlicht:
Deswegen ist diese auch bei der BGE
und der BASE so unbeliebt...

erfüllt werden und es **muss die Ermittlung dieser Kennzahlen am Anfang des Standortauswahl stehen!!!**



Die Endlagerkonzepte in Finnland, Schweden und der Schweiz zeigen, dass **auf eine geplante niedrige Leistungsdichte kein Wert gelegt wird**. Folglich werden **extrem hohe Temperaturen im Zentrum** herrschen und auch der Granit oder der Tonstein wird sich im Zentrum ausdehnen was zu Spannungsrissen und damit verbunden zu auch induzierten Gebirgsschlägen. **Die Risse werden Kluftwasser den Zutritt ins Endlager ebnen**. Durch die extrem hohen Temperaturen werden die Endlagerbehälter platzen und hoch radioaktiver Feinstaub wird das Endlager kontaminieren und in die Ostsee, die Nordsee und den Rhein gelangen.

Eine Anmerkung über Druckbehälter für Überdruck und Unterdruck:

Ein Druckbehälter gegen Überdruck auch von außen hat **IMMER** am Ende einen **gewölbten Boden**, wie einen **Klörperboden** nach DIN 28011 oder einen **Korbbogenboden**

nach DIN 28013 aber **nie** einen flachen Boden wie bei dem abgebildeten flachen Boden sogar mit Verdickungen, da solche scharfe Steifigkeitssprünge immer Spannungen anziehen und keine

Dauerfestigkeit ermöglichen. **Das ist Gegenstand jeglicher Festigkeitslehre und stellt einen groben Verstoß gegen den Stand der Technik dar.**



**Eine Bemerkung,
die sein muss...**

Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Druckbehaelter02.jpg>

Mit diesem Vortrag gebe ich der Interessierten Öffentlichkeit ein relativ einfaches Werkzeug an die Hand zu beurteilen, ob die Planungen der BGE sinnvoll sind:

Das ist dann der Fall, wenn in den Endlagerbehältern kein zu hoher Gasdruck (Heliumdruck) wegen
+ einer zu hohen Masse an Helium,
+ einem zu geringen freien Volumen für das Helium und
+ einer zu hohen Temperatur im Endlagerbehälter herrscht.

Dazu wird das Gasgesetz für Helium und das Gesetz für die Wärmeleitung angewandt.

Dafür wird eine relativ einfache Gleichung hergeleitet, die nur mit der Addition und der Multiplikation auskommt, also keine Differentialgleichungen gelöst werden müssen.

Um Transparenz zu gewährleisten, muss also die BGE

+ die Zeitfunktion der Heliummasse,
+ die Zeitfunktion der Zerfallswärmeleistung und
+ das freie Volumen in den Endlagerbehältern bekanntgeben.

Herzlichen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit...

