

**AG 10**  
**Wie heiß ist zu heiß?**  
**Grenztemperatur im**  
**Standortauswahlverfahren**

im Rahmen des 2. Forums Endlagersuche





# Programm

## Programmpunkt

Einführung in die AG – Dr. Daniel Lübbert und Oliver Helten, Planungsteam Forum Endlagersuche (PFE) (keine Präsentation)

Grenztemperatur im Standortauswahlverfahren – Stefan Wenzel, ehemaliges Mitglied der Endlagerkommission

Bedeutung der Grenztemperatur für das Standortauswahlverfahren – PD Dr. Wolfram Rühaak, Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Ableitung von Temperaturunverträglichkeiten für Komponenten eines Endlagersystems: Steinsalz, Tongestein und Kristallin – Dr. Jens Wolf, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS gGmbH)

Grenztemperaturen Einschätzung betrieblicher Machbarkeit – Dr. Niklas Bertrams, BGE TECHNOLOGY GmbH

# **Forum Endlagersuche 17./18.11.**

**AG 10: Wie heiss ist zu heiss**

**Grenztemperatur im Standortauswahlverfahren**

**Stefan Wenzel, 18.11.2023**

# Standortauswahlgesetz - StandAG

## § 27 Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

(4) Solange die maximalen physikalisch möglichen Temperaturen in den jeweiligen Wirtsgesteinen aufgrund ausstehender Forschungsarbeiten noch nicht festgelegt worden sind, wird aus Vorsorgegründen von einer Grenztemperatur von 100 Grad Celsius an der Außenfläche der Behälter ausgegangen.

# Grenztemperatur

## Einige relevante Fragestellungen

- Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur eines Endlagerbehälters auf das **umgebende Gestein, Füllmaterial und die thermisch induzierte Volumenexpansion**?
- Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur auf **Prozesse im Inneren des Endlagerbehälters**?
- Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur auf die **Zwischenlagerung und die Behälterentwicklung**?
- Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur auf das **Verfahren im Standortauswahlprozess**?

# Grenztemperatur

**Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur auf Prozesse im Inneren des Endlagerbehälters?**

- Fragen zu Prozessen im Inneren des Endlagerbehälters werden hier nicht weiter betrachtet
- Fragen zu MAW werden hier ebenfalls nicht betrachtet

# Grenztemperatur

Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur eines Endlagerbehälters ?  
Bisherige Annahmen zur Grenztemperatur.

- SKB hat bei Kristallingestein eine obere Temperaturgrenze von 100 Grad Celsius wegen des Bentonit Buffers festgelegt (ESK 22)
- Die Schweiz ging Mitte des letzten Jahrzehnts in Tongestein von einer oberen Temperaturgrenze von 90 Grad Celsius aus (Felslabor Mont Terri)
- In Salzgestein wurden lange 200 Grad Celsius als Grenztemperatur vorgesehen
- Das Stand AG geht aus Vorsorgegründen von einer Grenztemperatur von 100 Grad Celsius an der Außenfläche der Behälter aus (§ 27 (4) Stand AG)



# Grenztemperatur

Radioaktive Abfälle (Prof. Dr. Albert Günter Herrmann, 1983)

- Historische Entwicklung

**Tabelle 14.** Gesteinsarten, welche in verschiedenen Ländern auf ihre Eignung für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle untersucht werden (Röthemeyer 1981: 779; Röthemeyer und Closs 1981: 170)

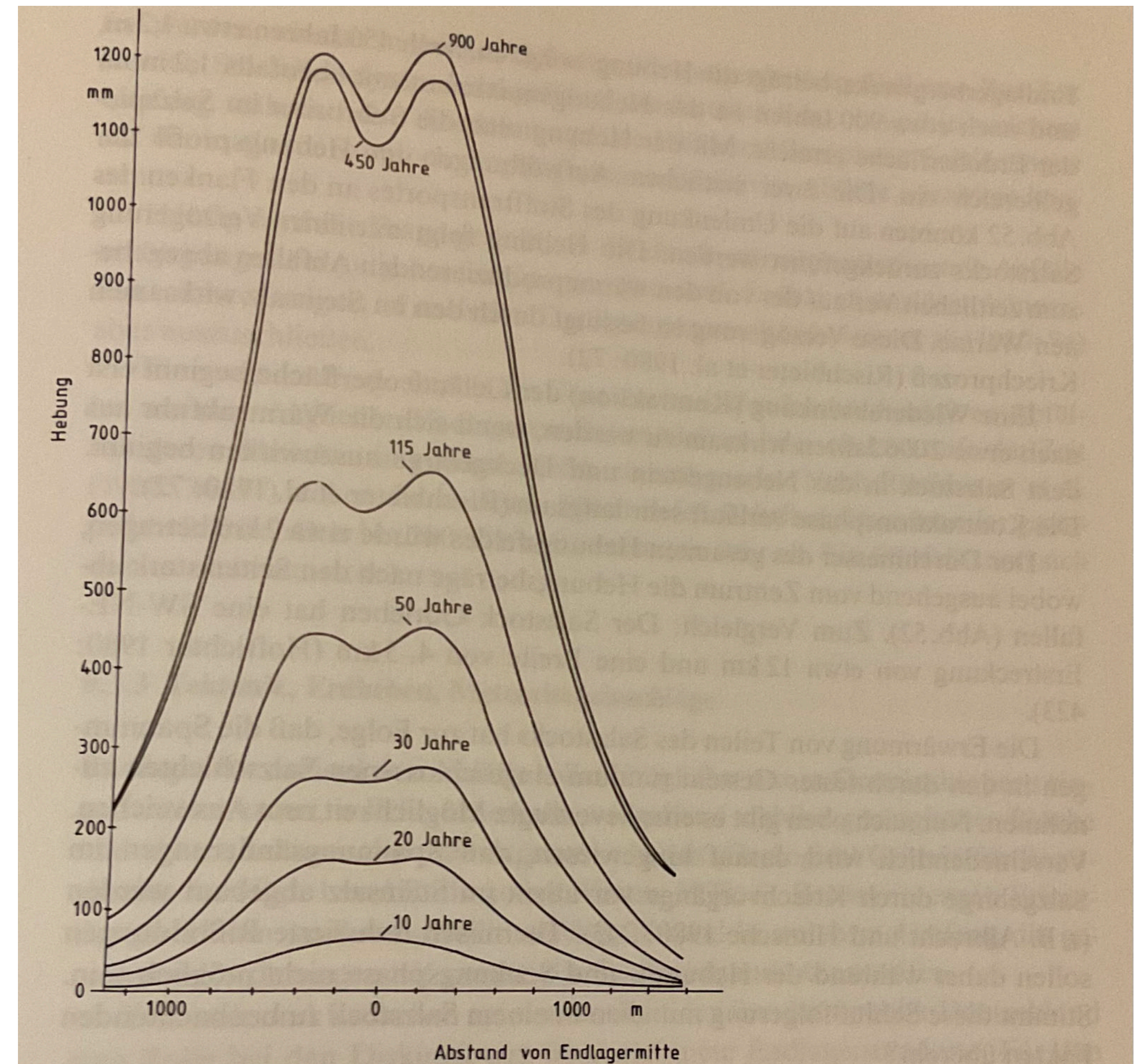
Land	Gesteinsart	Art der Abfälle	Voraussichtlicher Beginn der Einlagerung (Kalenderjahr)
Belgien	Tone	Wiederaufarbeitungsabfälle	> 2000
Bundesrepublik Deutschland	Steinsalz (Salzstöcke)	Wiederaufarbeitungsabfälle (abgebrannte Brennelemente)	1995
Dänemark	Steinsalz (Salzstöcke)	Wiederaufarbeitungsabfälle	> 2040
England	Granit, Tone, (Steinsalz)	Wiederaufarbeitungsabfälle, abgebrannte Brennelemente	2005
Frankreich	Granit, (Steinsalz)	Wiederaufarbeitungsabfälle	2020
Italien	Tone	Wiederaufarbeitungsabfälle	> 2000
Japan	Granit, (Ton-schiefer, Tuffe)	Wiederaufarbeitungsabfälle	?
Kanada	magmatische Gesteine, (Steinsalz, Kalkstein, Ton-schiefer)	abgebrannte Brennelemente (Wiederaufarbeitungsabfälle)	> 2000
Niederlande	Steinsalz (Salzstöcke)	Wiederaufarbeitungsabfälle	?
Schweden	Granit, Gneis	Wiederaufarbeitungsabfälle, abgebrannte Brennelemente	2020
Schweiz	Granit, Gneis, (Tone, Anhydrit)	Wiederaufarbeitungsabfälle, abgebrannte Brennelemente	2015–2020
USA	Steinsalz, Granit, Basalt, Ton-schiefer, Tuffe	abgebrannte Brennelemente, (Wiederaufarbeitungsabfälle)	1997–2006



# Grenztemperatur

Radioaktive Abfälle (Prof. Dr. Albert Günter Herrmann, 1983)

- Beispiel:
- thermisch induzierte Volumenexpansion
- Aktualisierung erforderlich



**Abb. 52.** Hebungen an der Erdoberfläche über dem in 1000 m Tiefe in einem Salzstock befindlichen Endlager für hochradioaktive Wiederaufarbeitungsabfälle. (Aus Rischbieter et al. 1980: 134; s. a. Warnecke et al. 1981: 814)



# Grenztemperatur

Exkurs Zwischenlagerung (Gutachten Flächenbedarf  
HAW-Endlager, DBE Tec)

- Quelle, Seite 29, 43

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
K-MAT 58

Gutachten

Flächenbedarf für ein Endlager  
für wärmeentwickelnde,  
hoch radioaktive Abfälle

Verantwortung  
für Generationen  
Responsibility  
for Generations

**DBE TEC**  
DBE TECHNOLOGY GmbH

# Grenztemperatur

## Exkurs Zwischenlagerung (Gutachten Flächenbedarf HAW-Endlager, DBE Tec)

Tabelle 3-14: Behälteranzahl, Anteil am gesamten Behälteraufkommen und Zwischenlagerzeiten, Salz 100

Salz 100	Behälter		Gesamtanteil	Einlagerung		Zwischenlagerzeit	
	Beladung	Anzahl		Beginn	Ende	Beginn	Ende
AVR, THTR, KNK, OH, BER		481	8,30%	01.01.2050	26.06.2052		
CSD-B	9	16	0,28%	28.06.2052	27.07.2052	67,5	47,6
CSD-C	9	456	7,87%	29.07.2052	06.12.2054	67,6	49,9
WWR	9*2,5	225	3,88%	08.12.2054	05.02.2056	64,9	61,1
CSD-V	5	747	12,89%	07.02.2056	19.12.2059	71,1	55,0
DWR+SWR	5	3.836	66,21%	21.12.2059	31.10.2079	70,0	56,8
FRM	2	33	0,57%	01.11.2079	01.01.2080		
Behälteranzahl		5.794		MOX ?			
Taktfrequenz		1,9					



# Grenztemperatur

## Exkurs Zwischenlagerung

Gutachten Flächenbedarf HAW-Endlager



Tabelle 3-5: Behälteranzahl, Anteil am gesamten Behälteraufkommen und Zwischenlagerzeiten, Salz 200

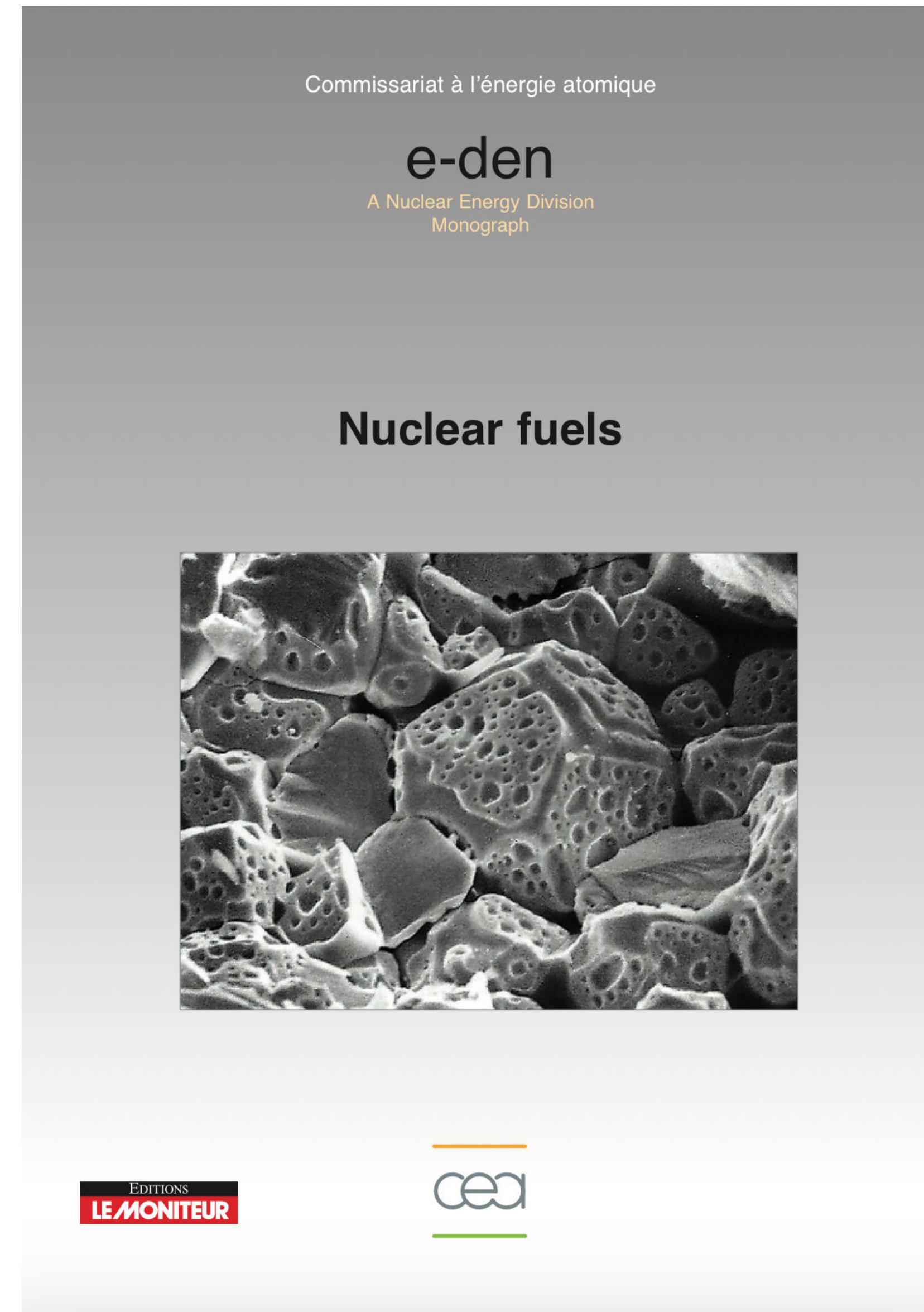
Salz 200	Behälter		Gesamtanteil	Einlagerung		Zwischenlagerzeit	
	Beladung	Anzahl		Beginn	Ende	Beginn	Ende
AVR, THTR, KNK, OH, BER		481	25,16%	01.01.2050	12.07.2057	?	?
CSD-B	28	5	0,26%	18.07.2057	10.08.2057	72,5	52,6
CSD-C	27	152	7,95%	15.08.2057	28.12.2059	72,6	55,0
WWER	84	61	3,19%	03.01.2060	12.12.2060	70,0	65,9
CSD-V	28	134	7,01%	17.12.2060	18.01.2063	76,0	58,1
DWR+SWR	19	1.032	53,97%	24.01.2063	18.04.2079	73,1	56,3
Rest MOX	5	14	0,73%	24.04.2079	26.06.2079	89,3	56,5
FRM		33	1,73%	02.07.2079	01.01.2080	?	?
Behälteranzahl		1.912				?	?
Taktfrequenz		5,7					



# Grenztemperatur

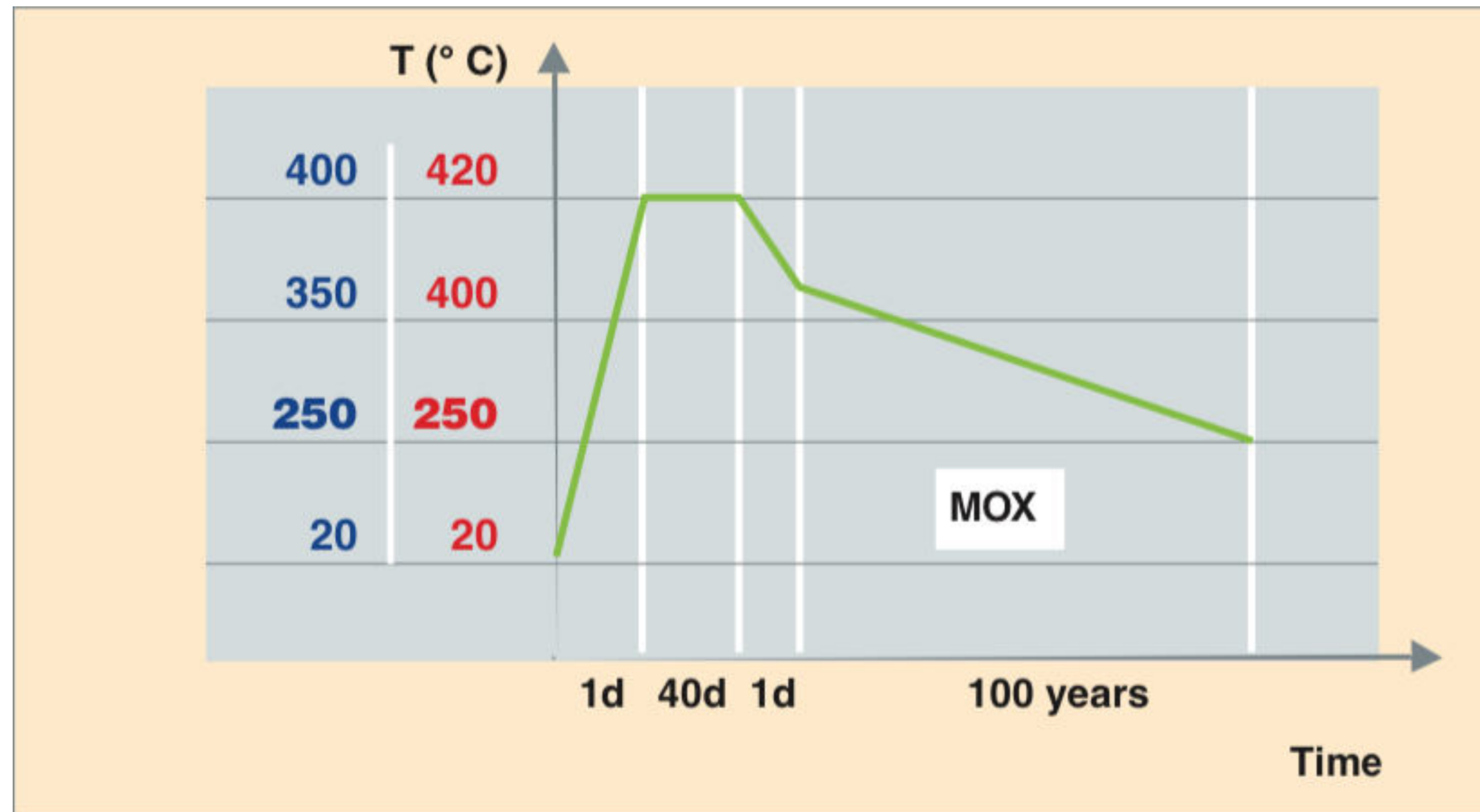
Exkurs Zwischenlagerung (CEA, Nuclear Fuels, 2009)

- Quelle, Seite 83



# Grenztemperatur

Exkurs Zwischenlagerung (CEA, Nuclear Fuels, 2009)



# Grenztemperatur

## ESK Stellungnahme (2022)

- Quelle, verschiedene Seiten



### STELLUNGNAHME der Entsorgungskommission

Zum 100 Grad Celsius Kriterium in § 27 (4) des Standortauswahlgesetzes

#### INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik</b> .....	<b>3</b>
2.1	Einfluss der Temperatur auf sicherheitsrelevante Prozesse in Steinsalz.....	3
2.2	Einfluss der Temperatur auf sicherheitsrelevante Prozesse in Tongestein .....	5
2.3	Einfluss der Temperatur auf sicherheitsrelevante Prozesse in Kristallingestein.....	6
2.4	Einfluss der Temperatur auf geotechnische und technische Barrieren .....	7
<b>3</b>	<b>Schlussfolgerung für die Endlagerauslegung</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Fazit und Empfehlungen der ESK zum weiteren Vorgehen</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Unterlagen</b> .....	<b>12</b>

# Grenztemperatur

## ESK Stellungnahme (2022)

- Anforderungen an Sicherheitsabstände und entsprechende Parameter bei der Ermittlung der Grenztemperaturen werden nicht erörtert.
- Anforderungen für die Sicherstellung der Bergbarkeit werden nicht erörtert.
- Nur einige wenige FEP's werden thematisiert. (Siehe bspw. Seite 291, 292, 293 zu freisetzungsrelevanten Prozessen, FEP: features, events, processes, Abschlussbericht, Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe, K-Drs 268)



# Grenztemperatur

## Offene Fragen zu Auswirkungen der Grenztemperatur ?

- Auswirkungen auf **Zwischenlagerzeiten** ?
- Auswirkungen auf **Behälterkonzept** ?
- Auswirkungen auf **auftretende Drücke im Endlager** ?
- Auswirkungen **der Wärmeausdehnung auf geol./techn. Barrieren** ?
- Auswirkungen auf **weitere FEPs Phase 1, 2 und 3** ?

# Grenztemperatur

Welche Auswirkungen hat die Grenztemperatur auf das Verfahren im Standortauswahlprozess?

- **Daten zur Wärmeentwicklung und Dauer der Abkühlungszeit** aller Abfälle in der Prognose an der Aussenfläche der Behälter im Endlager erforderlich
- Daten zur Abkühlungszeit von Brennelementen mit durchschnittlichem Abbrand und insbesondere **MOX-Brennelementen und Brennelementen aus verschiedenen Forschungsreaktoren** erforderlich
- Verschiedene Szenarien mit Blick auf Entscheidungsbedarf bei **Behälterkonzepten und Zwischenlagerzeiten** sind zu entwickeln

# Grenztemperatur

## Verfahren im Standortauswahlprozess

- Wissenschaftlicher Nachweis für ein Abweichen von § 27 (4) Stand AG ist mit Vorlage des jeweiligen Endlagerkonzepts, Sicherheitskonzepts, der Sicherheitsanforderungen und nachfolgender Sicherheitsuntersuchungen ggfls. zu führen
- Die FEPs sind für jedes Endlagerkonzept abzuarbeiten
- Keine pauschale Aufhebung von § 27 (4) Stand AG. Vorzeitige Aufhebung wäre im weiteren Prozess schwer bzw. nicht reversibel



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

## 2. FORUM ENDLAGERSUCHE

AG 10: Bedeutung der Grenztemperatur für das  
Standortauswahlverfahren

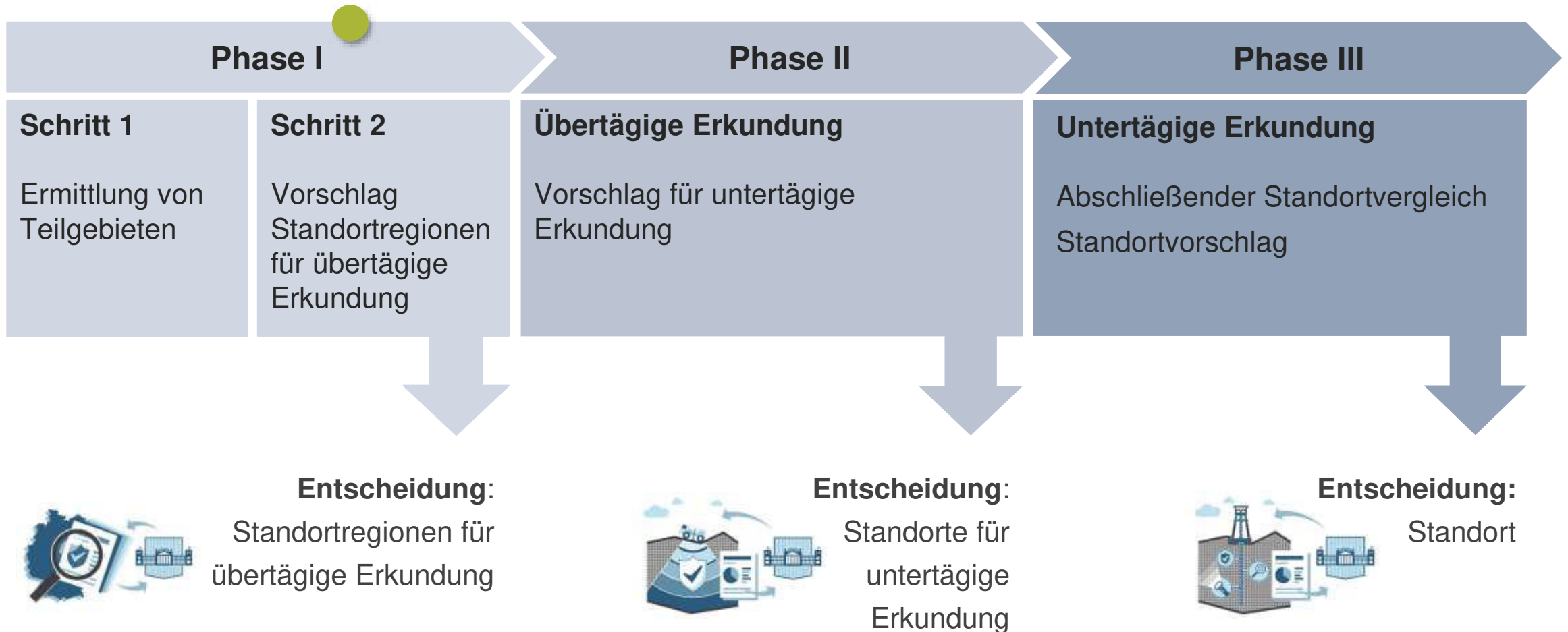
WOLFRAM RÜHAAK

Halle (Saale), 18.11.2023



# STANDORTAUSWAHLVERFAHREN

## Ablauf der Verfahrensschritte





***„SOLANGE DIE MAXIMALEN PHYSIKALISCH MÖGLICHEN TEMPERATUREN IN DEN JEWEILIGEN WIRTSGESTEINEN AUFGRUND AUSSTEHENDER FORSCHUNGSARBEITEN NOCH NICHT FESTGELEGT WORDEN SIND, WIRD AUS VORSORGEGRÜNDEN VON EINER GRENZTEMPERATUR VON 100 GRAD CELSIUS AN DER AUßENFLÄCHE DER BEHÄLTER AUSGEGANGEN.“***

§ 27 Abs. 4 StandAG

# GRENZTEMPERATUR IN DEN rvSU

Je Untersuchungsraum (§ 3)

**§ 5**  
Geosynthese

**§ 6**  
Vorläufiges Sicherheitskonzept; vorläufige Auslegung des Endlagers; Optimierung des Endlagersystems

**§ 7**  
Analyse des Endlagersystems

**§ 10**  
Umfassende Bewertung des Endlagersystems

**§ 11**  
Bewertung von Ungewissheiten

**§ 12**  
Ableitung des Erkundungs- Forschungs- und Entwicklungsbedarfs

**§ 6 Absatz 4 EndlSiUntV**

1. Beschreibung der wesentlichen Barrieren [...]
2. die maximale Größe eines Endlagerbergwerkes [...]
3. die geplante Art der Einlagerung,
4. mögliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Rückholbarkeit [...]
5. mögliche Verschluss- und Versatzmaßnahmen und
6. mögliche Maßnahmen zur Geringhaltung der Schädigung der wesentlichen Barrieren [...]

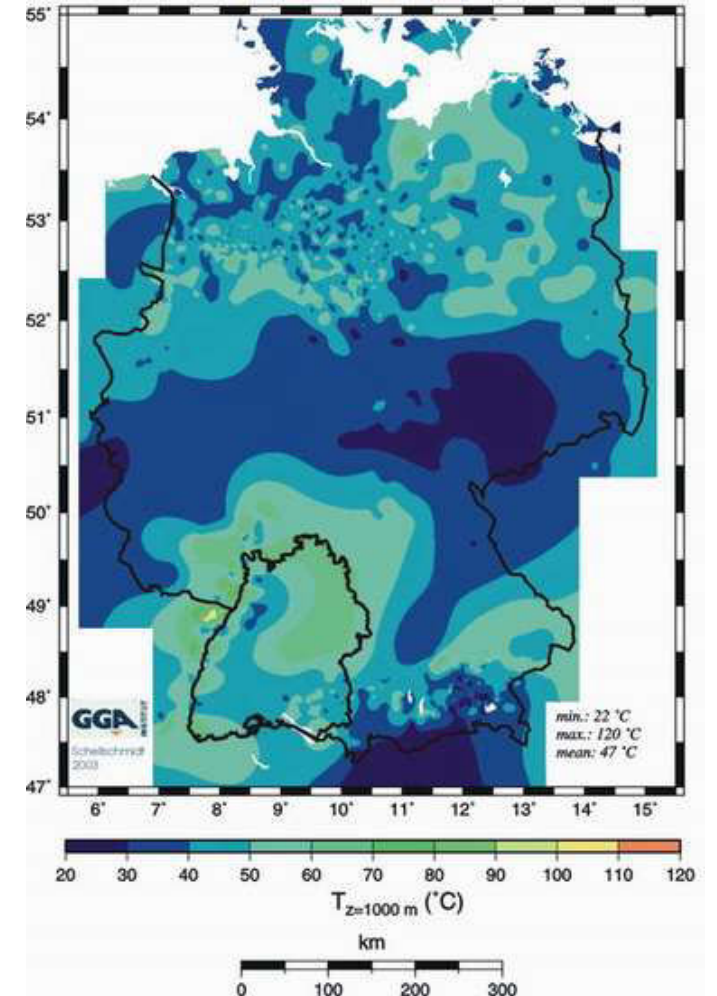
**§ 7 Absatz 6 Nr. 3. EndlSiUntV (zu bewertende Aspekte)**

- a) die räumliche Charakterisierbarkeit des Endlagersystems,
- b) die langfristige Stabilität der geologischen Verhältnisse,
- c) die thermischen Verhältnisse im Endlagersystem,
- d) der Flächenbedarf zur Realisierung eines Endlagerbergwerkes,
- e) die Möglichkeit zur Ausweisung eines ewG [...]
- f) [...] die Möglichkeit des sicheren Einschusses der Radionuklide [...]

# AUSWIRKUNGEN AUF DIE STANDORTSUCHE

## Die Grenztemperatur beeinflusst ...

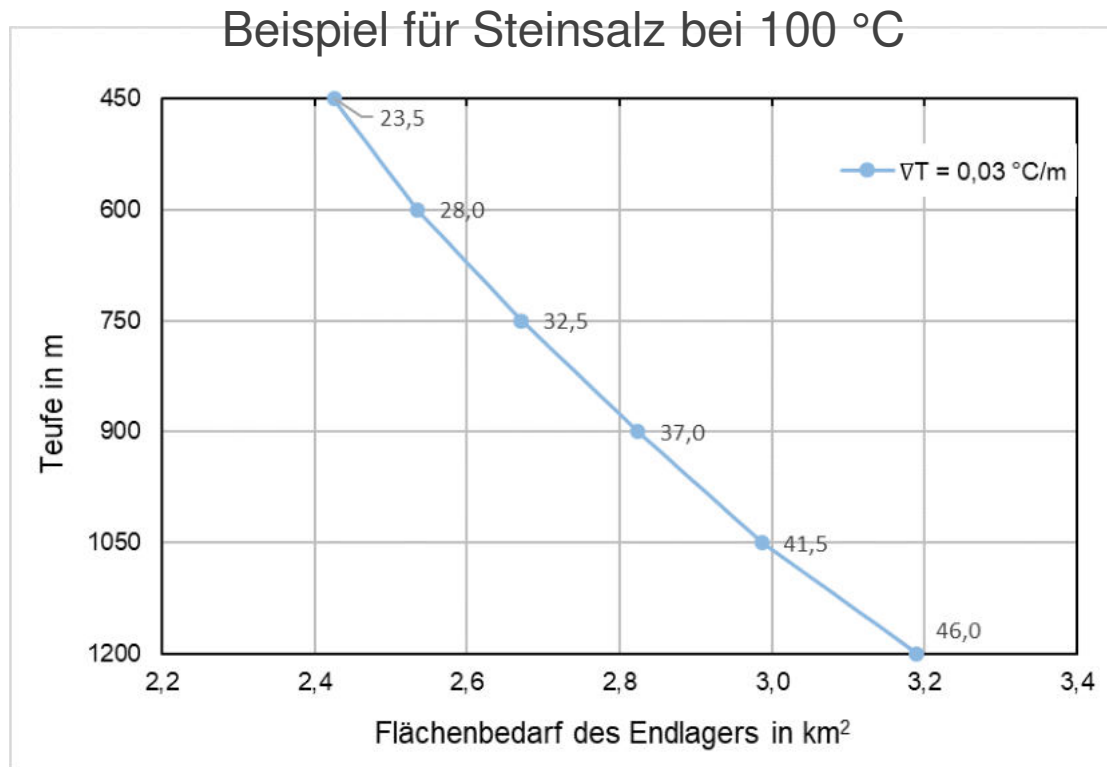
- die Tiefe und Fläche, die gesucht werden
    - höhere Temperaturen erlauben Standortsuche in größeren Tiefen und für kleinere Flächen
  
  - die Bewertung des sicheren Einschlusses
    - Temperatur beeinflusst die Berechnung des Massen- und Stoffmengenaustrags
    - Temperatur beeinflusst die Bewertung der Integrität
- verschiedene Wirtsgesteine sind unterschiedlich
- temperaturabhängige, gekoppelte THMCB-Prozesse wirken unterschiedlich je Wirtsgestein





# AUSWIRKUNGEN AUF DIE ENDLAGERFLÄCHE

## Endlagerfläche in Abhängigkeit von der Grenztemperatur



### Grenztemperatur an der Behälteraußenwand

100 °C höher

### Endlagerfläche\*

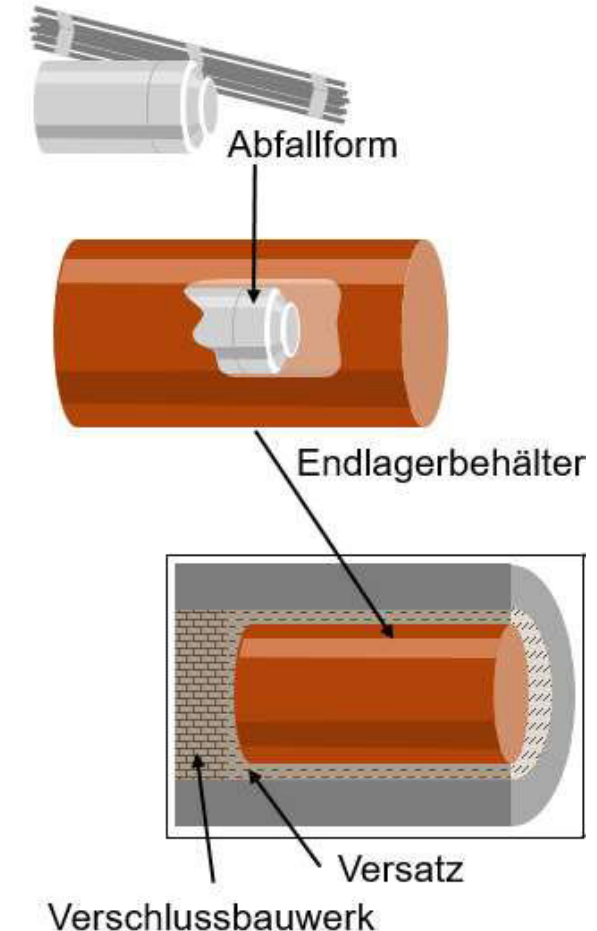
größer kleiner

\*Endlagerfläche = maximale Größe eines möglichen Endlagerbergwerks gem. § 6 Abs. 4 Nr. 2 EndlSiUntV ⇒ verfahrensrelevante Größe

# WEITERE AUSWIRKUNGEN

## Die Grenztemperatur beeinflusst ...

- den Betrieb und die Rückholbarkeit
  - höhere Temperaturen führen zu höheren Belastungen des Personals
  - Endlagertechnik (z. B. Wittertechnik) muss für die höheren Temperaturen ausgelegt werden
- Endlagerbehälterentwicklung
  - zeitliche Planung
  - Konzept der Endlagerbehälter (Größe und Beladung)



# AKTUALISIERUNG DER GRENZTEMPERATUR

Die BGE strebt eine Festlegung von aktualisierten, wissenschaftlich basierten Grenztemperaturen für Schritt 2 Phase I an.

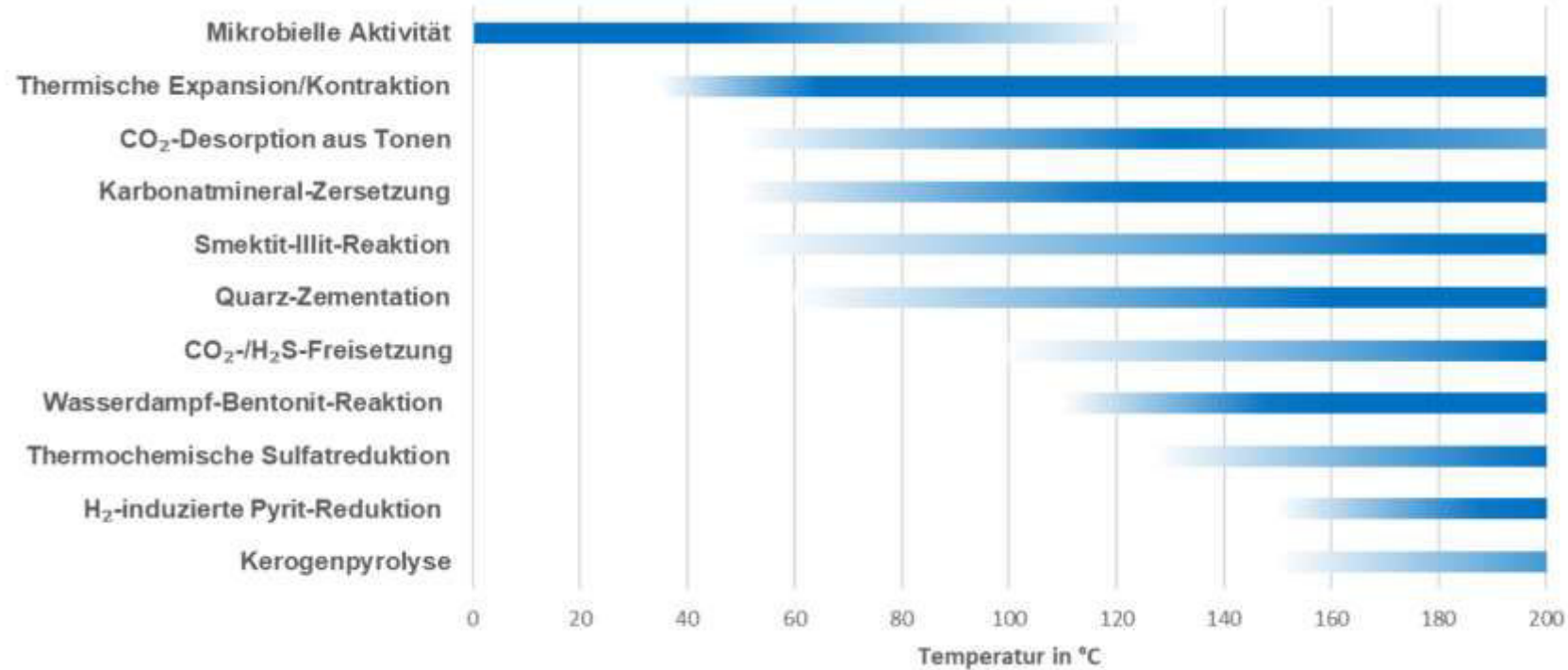
Wirtsgesteinsspezifische Grenztemperaturen

$$T_{\text{neu}} \geq 100 \text{ °C}$$

Aktualisierung der Grenztemperatur Ende 2023

# TEMPERATUREINFLUSS

## Temperaturabhängige Prozesse im Tongestein (Beispiel)



## Ressortforschungsberichte zur Sicherheit der nuklearen Entsorgung

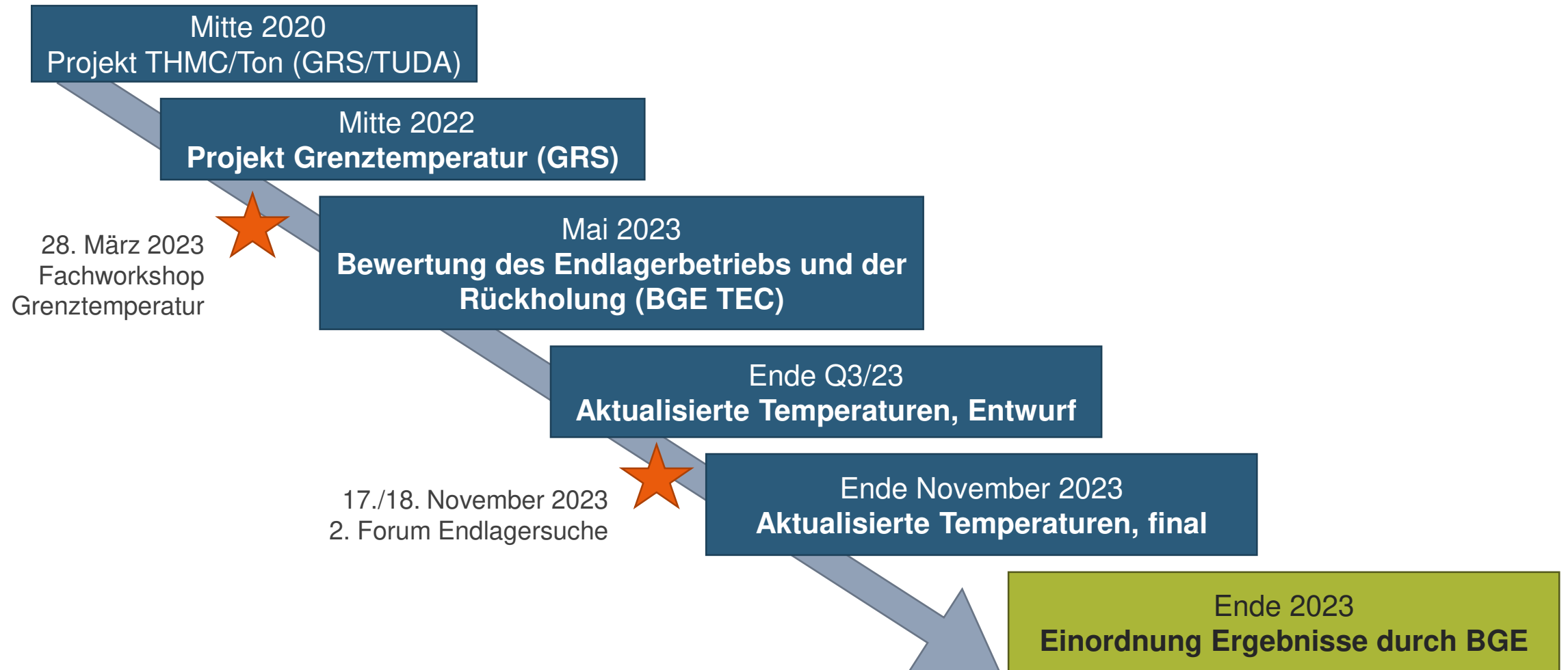
Untersuchungen zu den "maximalen physikalisch möglichen  
Temperaturen" gemäß § 27 StandAG im Hinblick auf die  
Grenztemperatur an der Außenfläche von Abfallbehältern –  
Vorhaben 4717E03241

Auftraggeber:  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

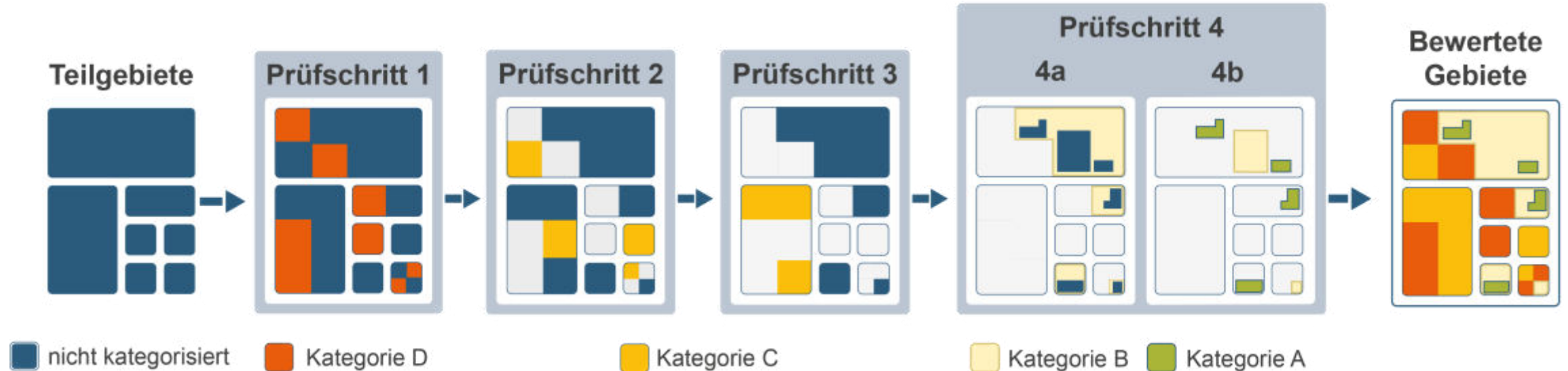
G. Bracke  
E. Hartwig-Thuret  
J. Linn  
A. Meischyn  
T. Weyand



# WISSENSCHAFTLICHE ERARBEITUNG EINER AKTUALISIERTEN GRENZTEMPERATUR



# ANWENDUNG DER GRENZTEMPERATUR IN SCHRITT 2 PHASE I



**Ursprüngliche Vorgabe der Grenztemperatur, Mindestflächenbedarfe:**  
 Steinsalz: 3 km<sup>2</sup>, Kristallin: 6 km<sup>2</sup>, Tongestein: 10 km<sup>2</sup>  
 → Erhöht geometrische Flexibilität

**Aktualisierte Grenztemperaturen und aktualisierte Flächenbedarfe**  
 → Ermöglicht weitere Differenzierung durch erhöhten Detaillierungsgrad

# ZUSAMMENFASSUNG

- Die Grenztemperatur ist wesentliche Planungs-/Randbedingung
  - in der Endlagerauslegung, höhere Grenztemperatur führt zu kleineren Flächenbedarfen
  - in der Konzeptplanung der Endlagerbehälter
  - in den vSU des Standortauswahlverfahrens
- Thermische Prozesse wirken unterschiedlich je nach Wirtsgestein
- Änderungen dieser Planungs-/Randbedingung führen zu zeitlichen Verzögerungen im Standortauswahlverfahren und der Endlagerbehälterentwicklung
- Erarbeitung von aktualisierten, wissenschaftlich basierten Grenztemperaturen
  - wirtsgesteinsspezifisch,  $\geq 100$  °C
  - fachliche Zuarbeiten der GRS und BGE TEC
- Ziel: Aktualisierung der Grenztemperatur Ende 2023, Anwendung der aktualisierten Grenztemperaturen bereits in Schritt 2 Phase I

# DIE GRENZTEMPERATUR IM STANDORTAUSWAHLVERFAHREN

## Ausblick





# ABKÜRZUNGEN (1/2)

<b>BGE</b>	Bundesgesellschaft für Endlagerung GmbH
<b>BGE-TEC</b>	BGE Technology GmbH
<b>C</b>	chemisch
<b>EndISiAnfV</b>	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
<b>EndISiUntV</b>	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
<b>ewG</b>	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
<b>geoWK</b>	geowissenschaftliche Abwägungskriterien
<b>GRS</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
<b>H</b>	hydraulisch
<b>M</b>	mechanisch
<b>Q</b>	Quartal
<b>QS</b>	Qualitätssicherung
<b>rvSU</b>	repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
<b>StandAG</b>	Standortauswahlgesetz

# ABKÜRZUNGEN (2/2)

<b>T</b>	thermisch
<b>TTUF</b>	Teiltemperaturunverträglichkeitsfunktion
<b>THMC</b>	thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemisch
<b>THMCB</b>	thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemisch-biologisch
<b>TU Darmstadt</b>	Technische Universität Darmstadt
<b>vSU</b>	vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

# LITERATUR

- [http://www.geothermie.emerging-trails.de/6\\_artikel\\_02-Geothermie-A0007/02-Natur-A0014/01-Temperaturen-A0022.html](http://www.geothermie.emerging-trails.de/6_artikel_02-Geothermie-A0007/02-Natur-A0014/01-Temperaturen-A0022.html)
- BGE (2022b): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
- Bracke, G.; Hartwig-Thurat, E.; Larue, J.; Meleshyn, A.; Weyand, T. (2019): Untersuchungen zu den „maximalen physikalisch möglichen Temperaturen“ gemäß § 27 StandAG im Hinblick auf die Grenztemperatur an der Außenfläche von Abfallbehältern. 2019. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Köln
- EndSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)
- EndSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist



## **BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG**

**PD DR. WOLFRAM RÜHAAK**

Standortauswahl – Sicherheitsuntersuchungen

Peine | Eschenstraße 55 | 31224 Peine

**[www.bge.de](http://www.bge.de)**

[www.einblicke.de](http://www.einblicke.de)



Die Newsletter der BGE



# Ableitung von Temperaturverträglichkeiten für Komponenten eines Endlagersystems: Steinsalz, Tongestein und Kristallin

Czaikowski, Förster, Hinze, Mayer, Meleshyn, Middelhoff, Rübel, Wolf  
GRS gGmbH

Forum Endlagersuche: AG 10: Wie heiß ist zu heiß? Grenztemperatur im  
Standortauswahlverfahren

18.11.2023, Halle (Saale)



# Motivation

- Kommissionsbericht
- StandAG § 27 Absatz 4
- ESK-Stellungnahme



	Salt	Shale	Granite	Deep Boreholes
Thermal Conductivity	High	Low	Medium	Medium
Permeability	Practically impermeable	Very low to low	Very low (unfractured) to permeable (fractured)	Very low
Strength	Medium	Low to medium	High	High
Deformation behavior	Visco-plastic (creep)	Plastic to brittle	Brittle	Brittle
Stability of cavities	Self-supporting on the scale of decades	Artificial reinforcement required	High (unfractured) to low (highly fractured)	Medium at great depth
In situ stress	Isotropic	Anisotropic	Anisotropic	Anisotropic
Dissolution behavior	High	Very low	Very low	Very low
Sorption behavior	Very low	Very high	Medium to high	Medium to high
Chemistry	Reducing	Reducing	Reducing	Reducing
Heat resistance	High	Low	High	High
Mining experience	High	Low	High	Low
Available geology	Wide	Wide	Medium	Wide
Geologic stability	High	High	High	High
Engineered barriers	Minimal	Minimal	Needed	Minimal
<span style="background-color: #90EE90;">Favorable quality</span> <span style="background-color: #F0E68C;">Average or variable quality</span> <span style="background-color: #FFA07A;">Unfavorable property</span>				

Quelle: SANDIA (2011)

→ Die in Frage kommenden Wirtsgesteine haben sehr unterschiedliche Eigenschaften und es resultieren daraus sehr unterschiedliche Endlagersysteme

# Bedeutung Temperaturverträglichkeit

- Die **Temperaturverträglichkeit** einer Komponente (geologisch oder technisch) bewertet die Konsequenzen von Temperaturänderungen für diese Komponente.
  - Konsequenzen können sein:
    - Beeinträchtigung der Integrität (direkt)
    - Beeinträchtigung der thermischen Eigenschaften der Komponente (indirekt)
    - Beeinflussung des Radionuklidtransportes
  - Bewertung von THMCBR\*-Prozessen für die Nachverschlussphase (Langzeitsicherheit, „thermische Phase“)
  
- Ziel des Vorhabens: Temperaturverträglichkeiten von Komponenten

- im Wirtsgestein Steinsalz
- im Wirtsgestein Tongestein
- im Wirtsgestein Kristallingestein

Endlagersysteme (!)

\* **T**hermisch, **H**ydraulisch, **M**echanisch, **C**hemisch, **B**iologisch, **R**adiologisch

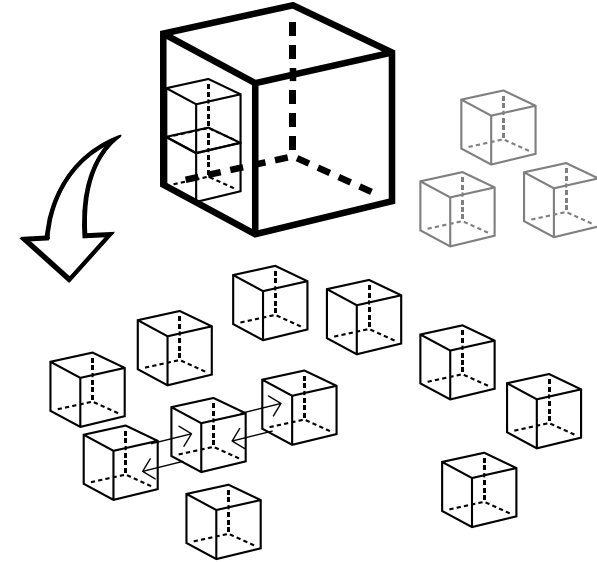
# Strategie der Festlegung von Temperaturverträglichkeiten

- **Umfassende Analyse:** Wurden alle relevanten Prozesse berücksichtigt?  
→ FEP\*-Analyse → Relevante Prozesse
- **Transparenz und Nachvollziehbarkeit:** Objektivierung der Entscheidungsfindung  
→ mathematischer Werkzeugkasten (Entscheidungsunterstützung) zur Berücksichtigung der relevanten Prozesse inkl. Visualisierung
- **Flexibilität** hinsichtlich Änderungen in vorläufiger Endlagerplanung  
→ Komponentenweise Betrachtung → FEP-Analyse

\*Features, Events and Processes

# Vorgehensweise

- Schritt 1: **FEP-Analyse (Relevanzprüfung)**
  - Gliederung des Endlagersystems
  - Assoziierte Prozesse: Kopplungen
  - Ableitung relevanter temperaturbeeinflusster Prozesse



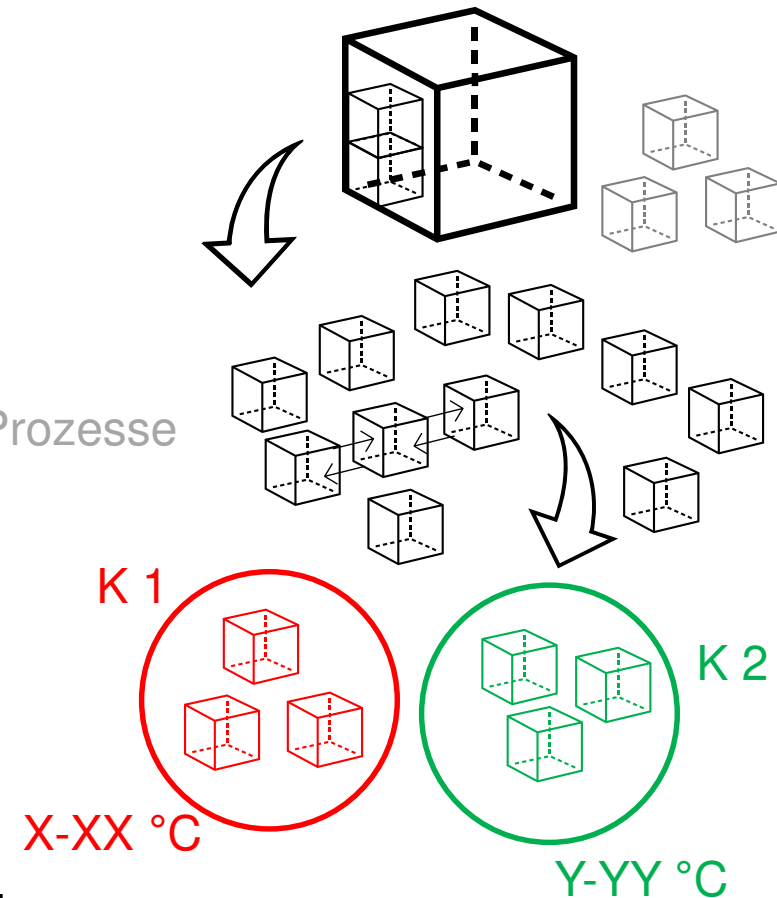
# Vorgehensweise

## ■ Schritt 1: Relevanzprüfung

- Gliederung des Endlagersystems
- Assoziierte Prozesse: Kopplungen
- Ableitung relevanter temperaturbeeinflusster Prozesse

## ■ Schritt 2: Priorisierung

- Aufstellung von Kostenfunktionen (TUF)
  - für temperaturbeeinflusste Komponente K
  - Prozesse relevant für
    - a) Integrität der Barriere
    - b) Radionuklidausbreitung
- Lösung des (nicht-linearen) Optimierungsproblems





# Vorgehensweise

## ■ Schritt 1: Relevanzprüfung

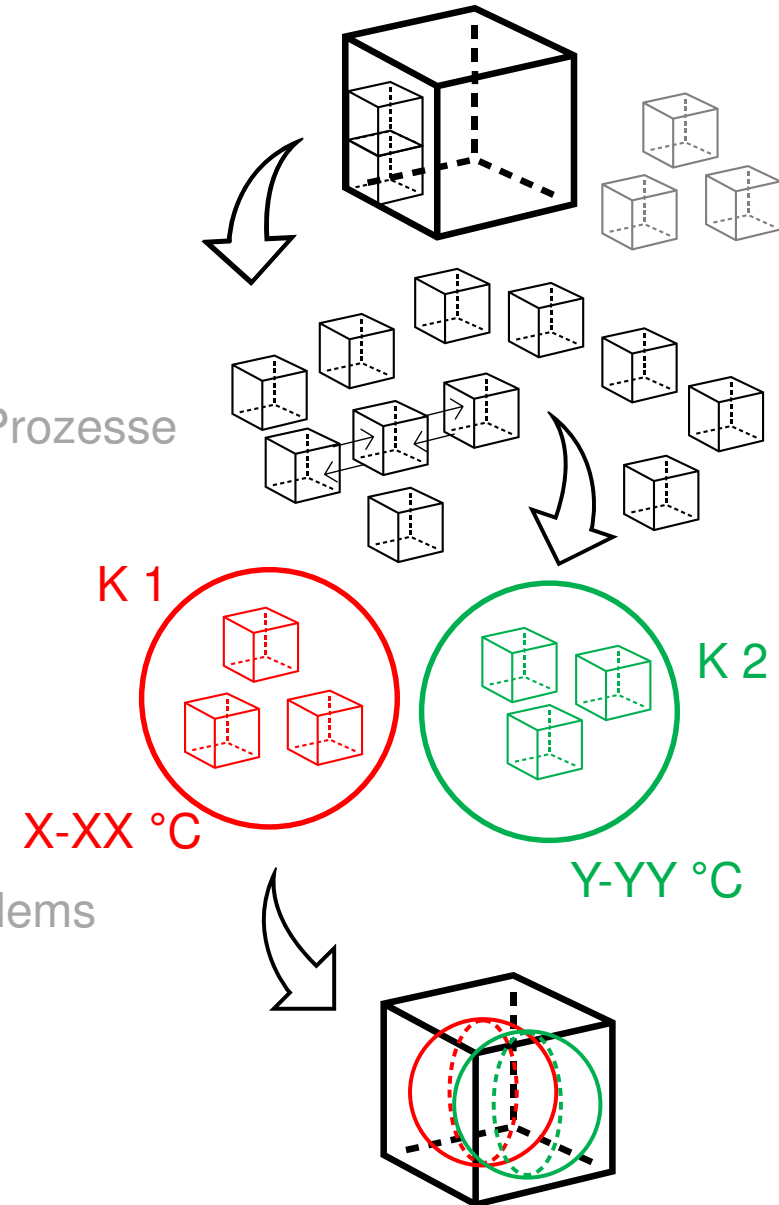
- Gliederung des Endlagersystems
- Assoziierte Prozesse: Kopplungen
- Ableitung relevanter temperaturbeeinflusster Prozesse

## ■ Schritt 2: Priorisierung

- Aufstellung von Kostenfunktionen
  - für temperaturbeeinflusste Komponente K
  - Prozesse relevant für
    - a) Integrität der Barriere
    - b) Radionuklidausbreitung
- Lösung des (nicht-linearen) Optimierungsproblems

## ■ Schritt 3: Verbal-argumentative Synthese

- Zusammenführung der Ergebnisse



# Relevanzprüfung: FEP-Grundlage

Features / Components	Characteristics, Processes, and Events	Processes											Events						
		CP	TM	TH	TC	TB	TT	TL	RA	LG	CL	HP	OP	NC	EF	SM	IG	HE	OE
(GD) General Definitions																			
<b>Waste and Engineered Barriers Region</b>																			
(WF) Waste Form																			
(01) SNF and Cladding																			
(02) Vitrified HLW																			
(05) Other HLW																			
(06) Metal Parts from Reprocessing																			
(WP) Waste Package and Internals																			
(01) SNF																			
(02) Vitrified HLW																			
(05) Other HLW																			
(06) Metal Parts																			
(BB) Buffer/Backfill																			
(01) Waste Package Buffer																			
(02) Drift/Tunnel Backfill																			
(MW) Mine Workings																			
(01) Drift/Tunnel/Room Supports																			
(02) Liners																			
(03) Open Excavations/Areas																			
(04) Emplacement Boreholes																			
(SP) Seals/Plugs																			
(01) Drift/Tunnel Seals																			
(02) Shaft Seals																			
(03) Borehole Plugs																			
<b>Geosphere and Natural Barriers Region</b>																			
(HR) Host Rock																			
(01) Excavation Disturbed Zone (EDZ)																			
(02) Emplacement Unit(s)																			
(03) Other Host Rock Units																			
(OU) Other Geologic Units																			
(01) Overlying / Adjacent Units (including Caprock, Aquifers)																			
(02) Underlying Units																			
<b>Surface Region</b>																			
(BP) Biosphere																			
(01) Surface and Near-Surface Media and Materials																			
(02) Flora and Fauna																			
(03) Humans																			
(04) Food and Drinking Water																			
<b>System Region</b>																			
(RS) Repository System																			
(01) Assessment Basis																			
(02) Preclosure/Operational																			
(03) Other Global																			

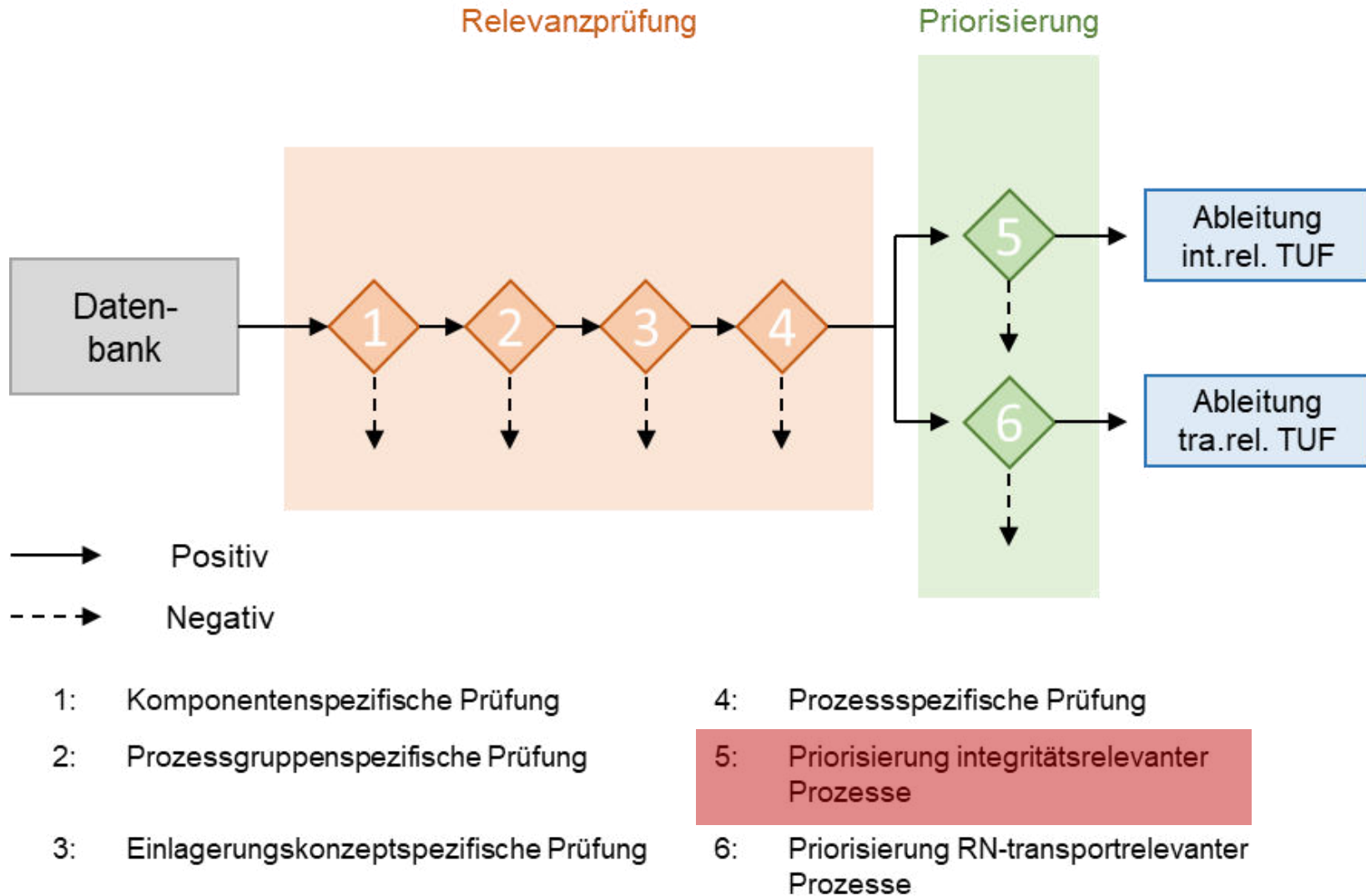
Zu jedem dieser FEP gibt es assoziierte Prozesse (Freeze et al. 2020)

~ 1.200 FEP und assoziierte Prozesse ausgewertet

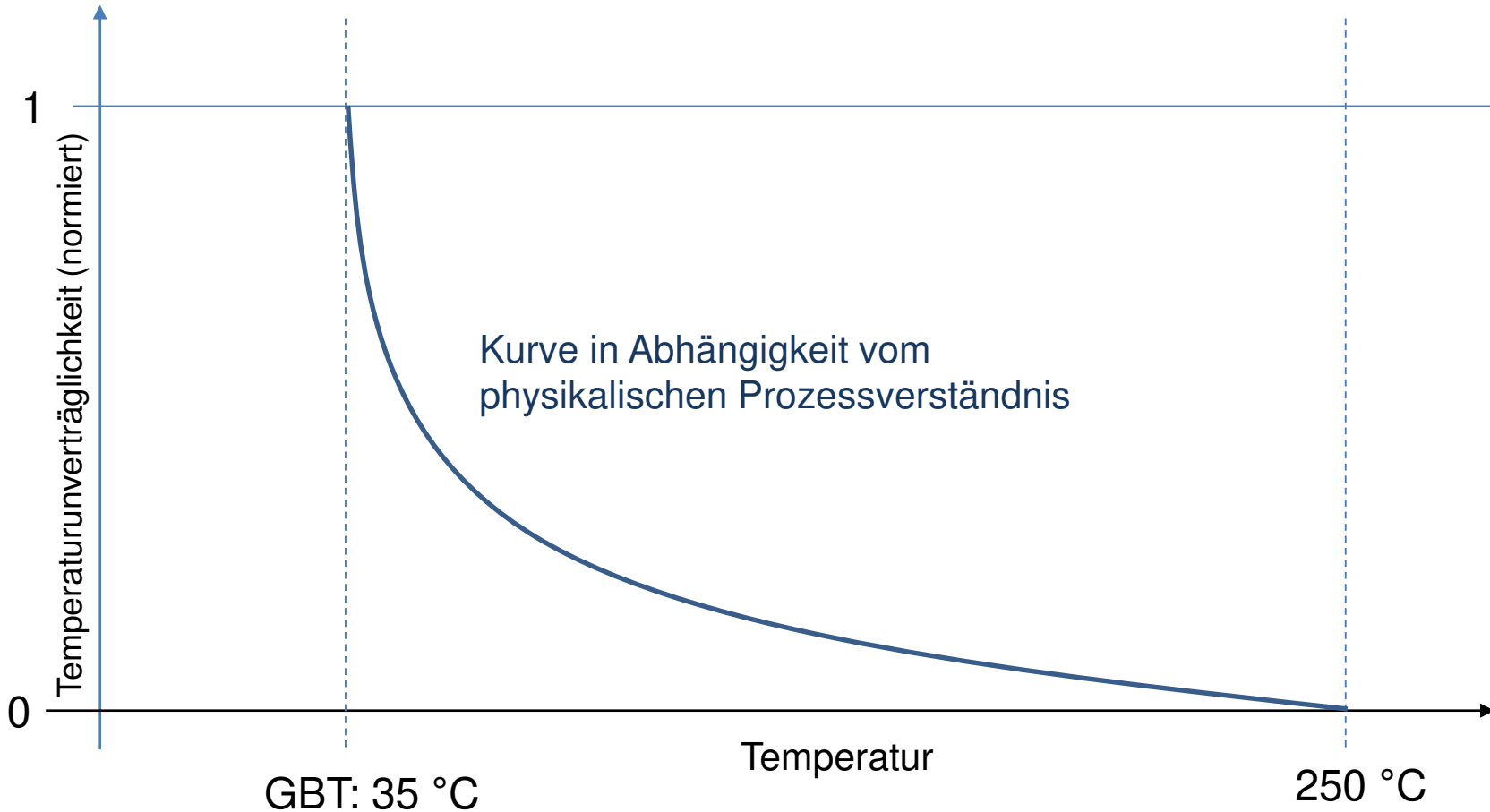
Begründungen zu ausgeschlossenen Bereichen

Quelle: SANDIA (2020)

# Relevanzprüfung und Priorisierung

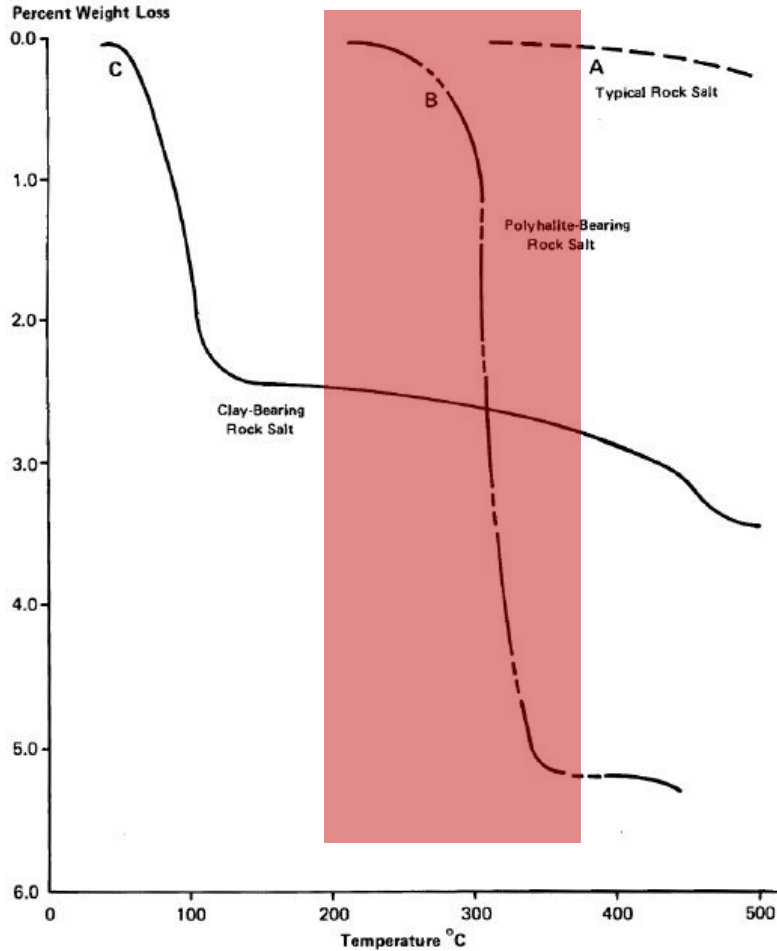


# Temperaturunverträglichkeitsfunktion (TUF)

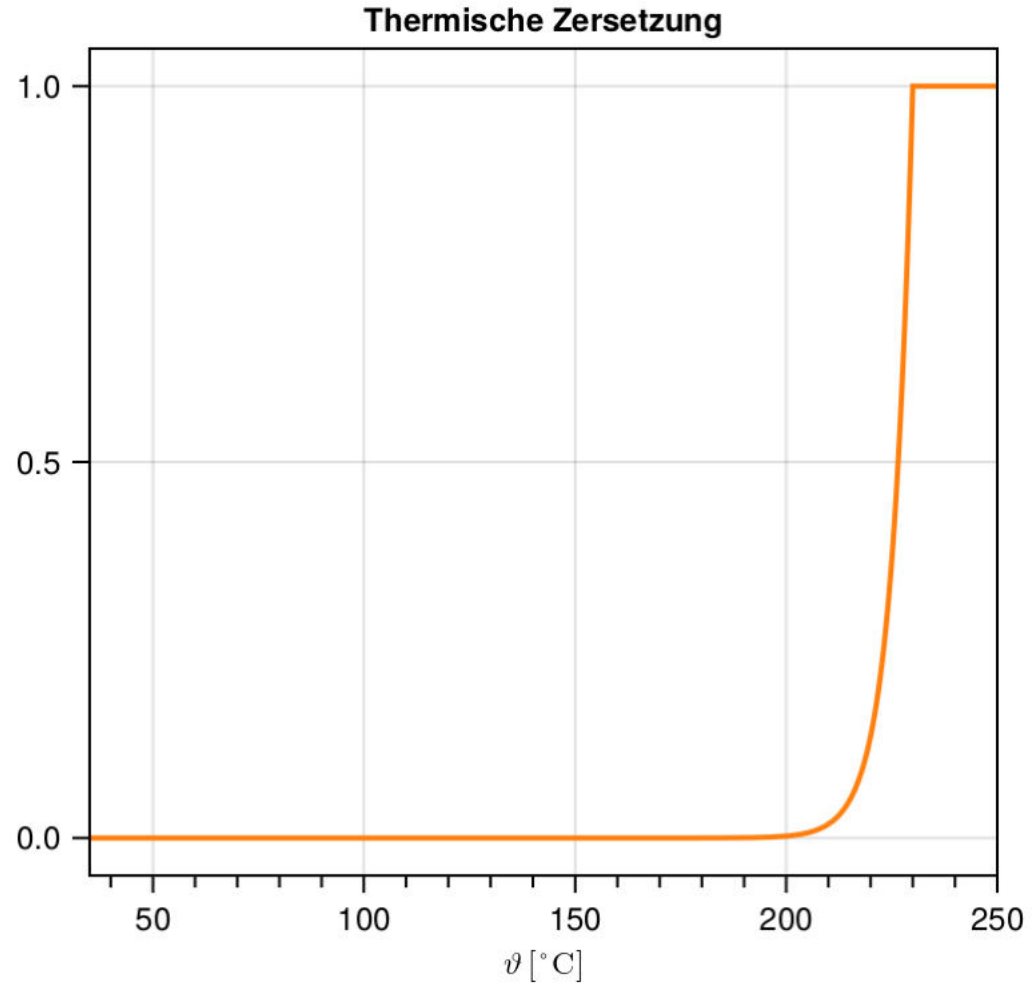


Das Intervall  $[0, 1]$  dient ausschließlich zur Normierung der Prozesse

# Beispiel: Thermische Zersetzung von Steinsalz



Quelle: SANDIA (2019)





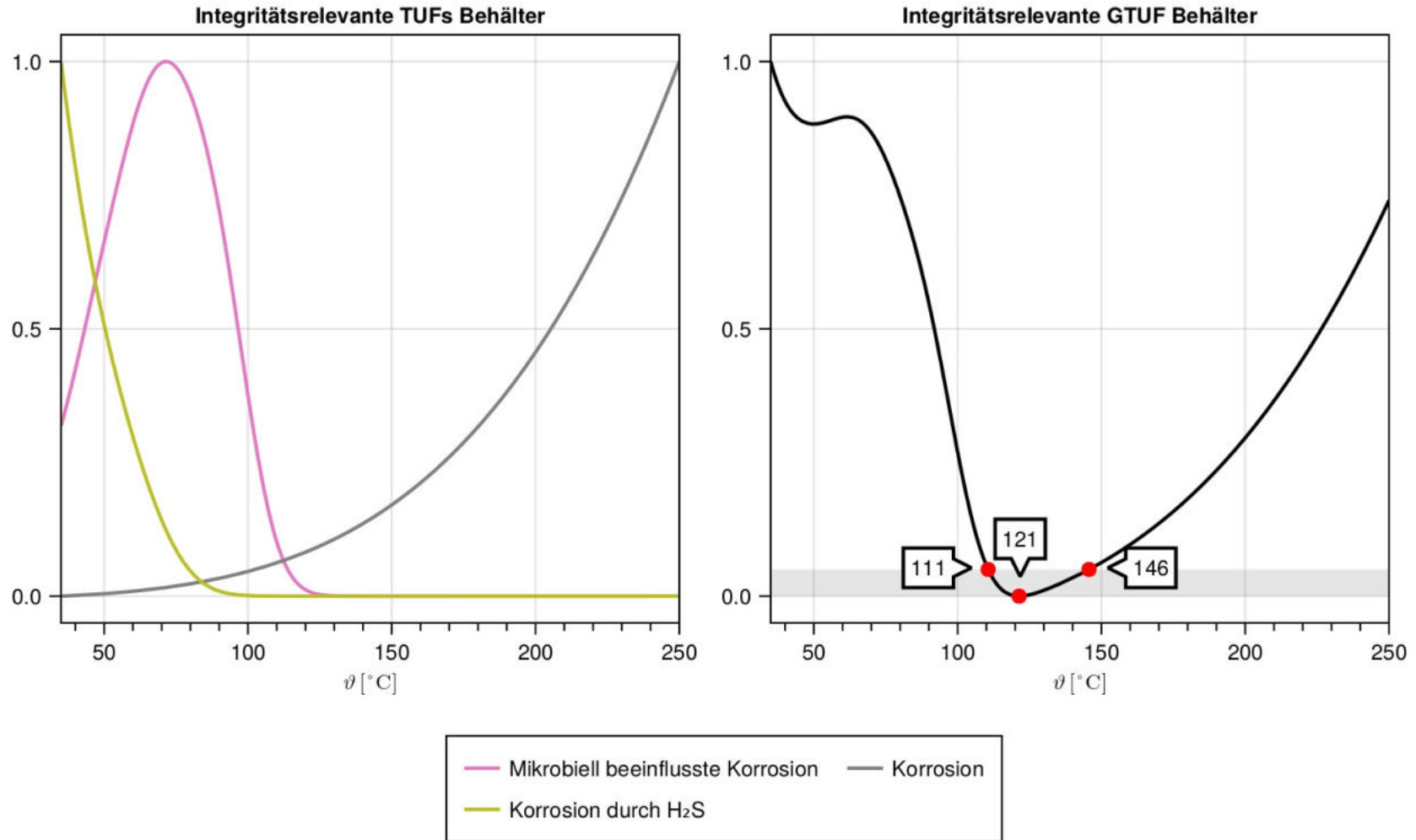
# Generelles Vorgehen Ableitung GTUF

Komponente X					
Prozess X.1	Integrität	TTUF*	Gewicht	GTUF**	$\sum_{k=0}^n w_k = 1$
Prozess X.2	Integrität	TTUF	Gewicht		
Prozess X.11	Integrität	TTUF	Gewicht		
Prozess X.14	Integrität	TTUF	Gewicht	GTUF**	$\sum_{k=0}^n w_k = 1$
Prozess X.5	RN-Transport	TTUF	Gewicht		
Prozess X.7	RN-Transport	TTUF	Gewicht		

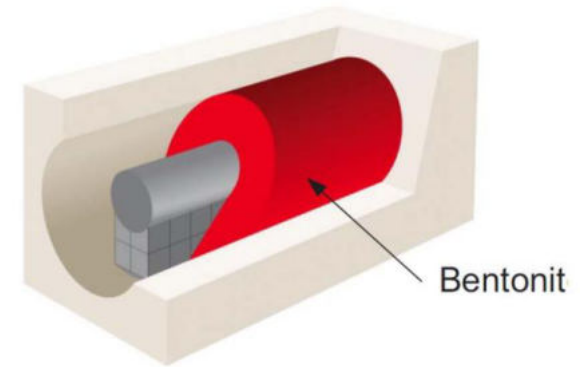
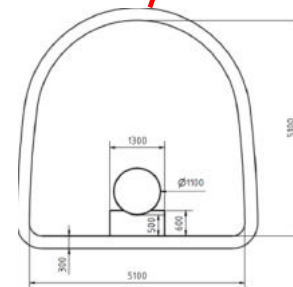
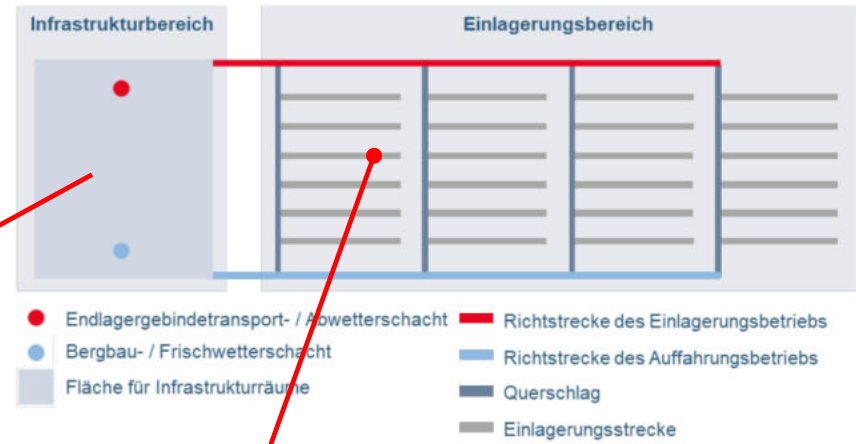
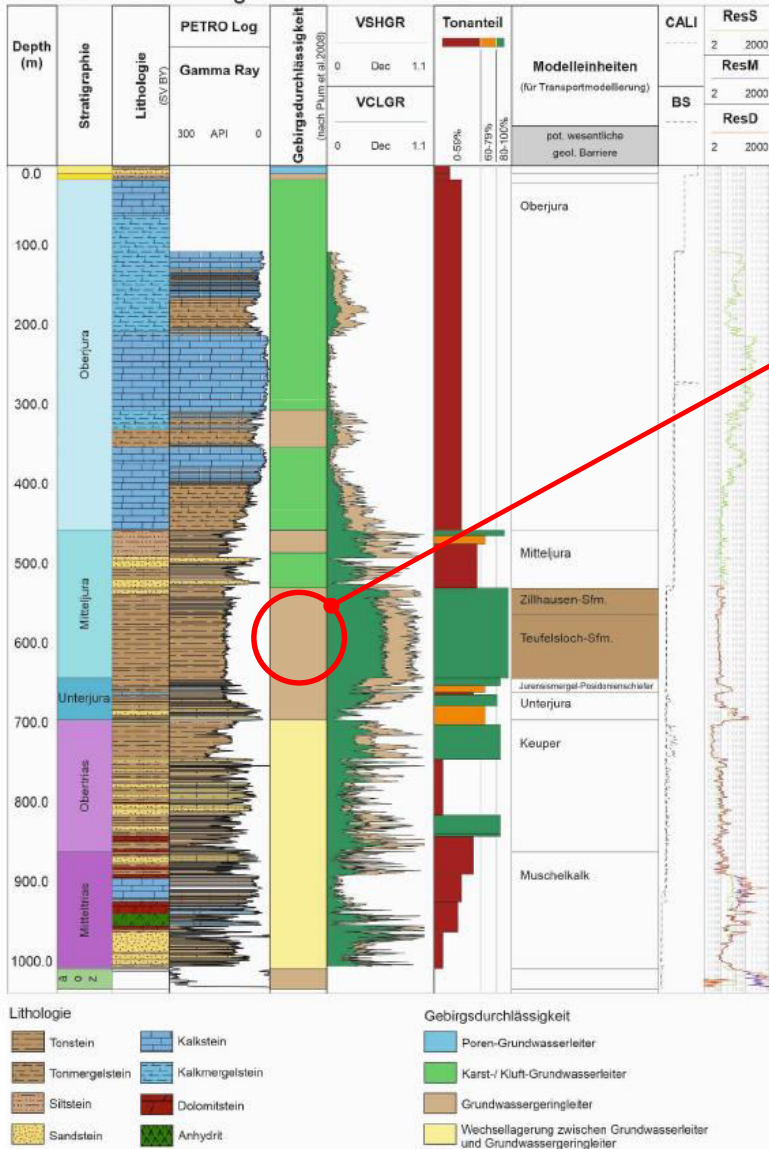
\*TTUF = Teitemperaturunverträglichkeitsfunktion

\*\*GTUF = Gesamttemperaturunverträglichkeitsfunktion

# Beispiel Tongestein, Komponente Behälter: TUF → GTUF



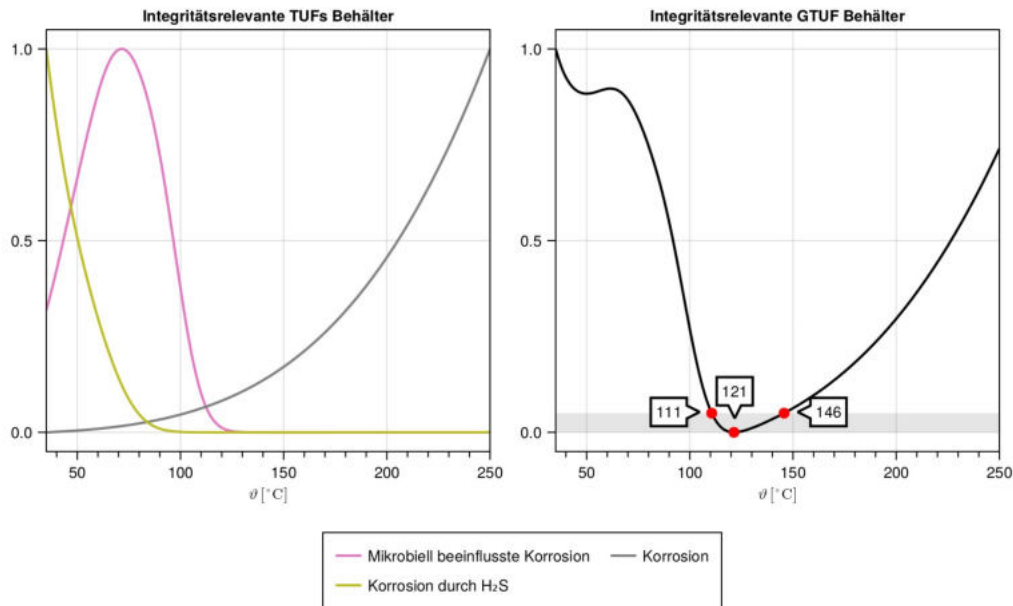
# Wirtsgestein: Tongestein



Quelle: BGE, 2022

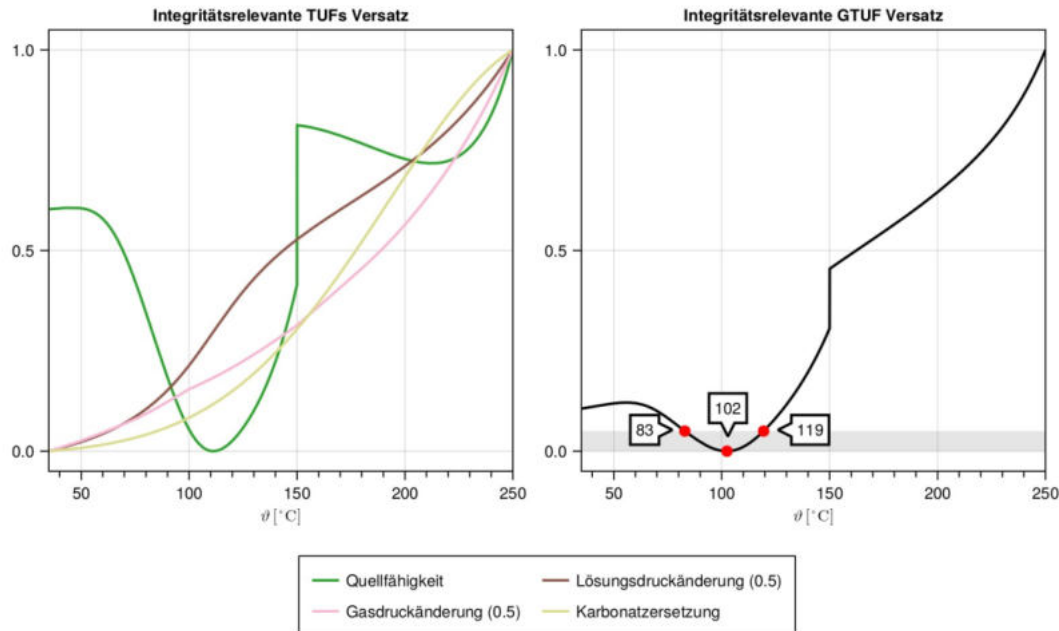
# Tongestein: Komponente Behälter: Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze [°C]	Minimum GTUF [°C]	Obere Grenze [°C]
Behälter	110	121	150
Versatz / Buffer			
ALZ			
Wirtsgestein (ewG)			



# Tongestein: Komponente Versatz: Integrität

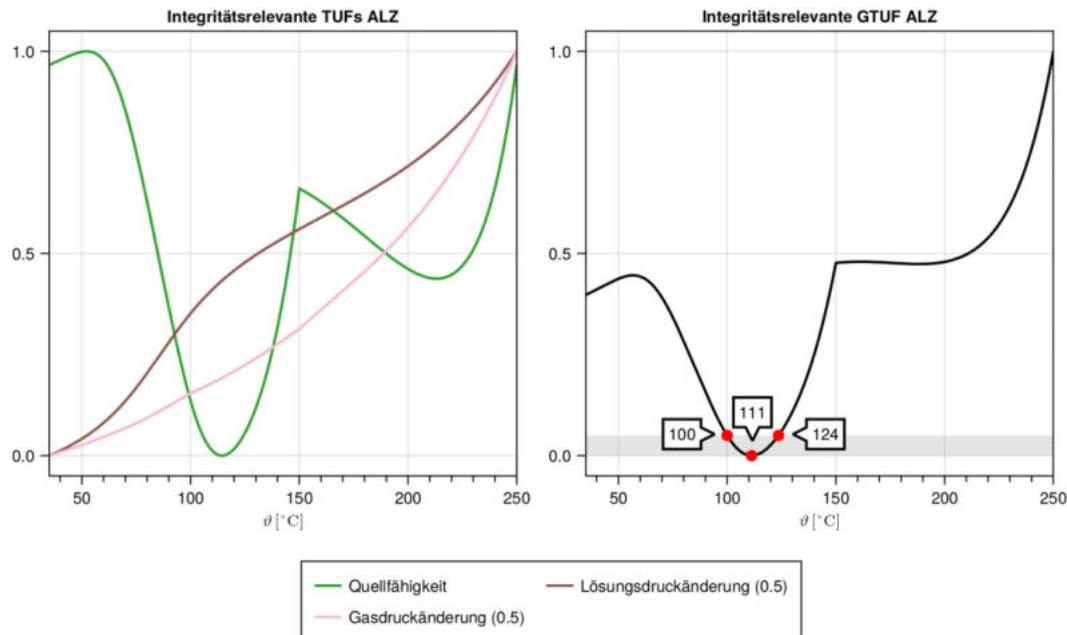
Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	110	121	150
Versatz / Buffer	80	102	120
ALZ			
Wirtsgestein (ewG)			





# Tongestein: Komponente ALZ / Wirtsgestein (ewG): Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	110	121	150
Versatz / Buffer	80	102	120
ALZ	100	111	120
Wirtsgestein (ewG)	100	111	120



# Tongestein: Synthese

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	110	121	150
Versatz / Buffer	80	102	120
ALZ	100	111	120
Wirtsgestein (ewG)	100	111	120

Günstiger Temperaturbereich:

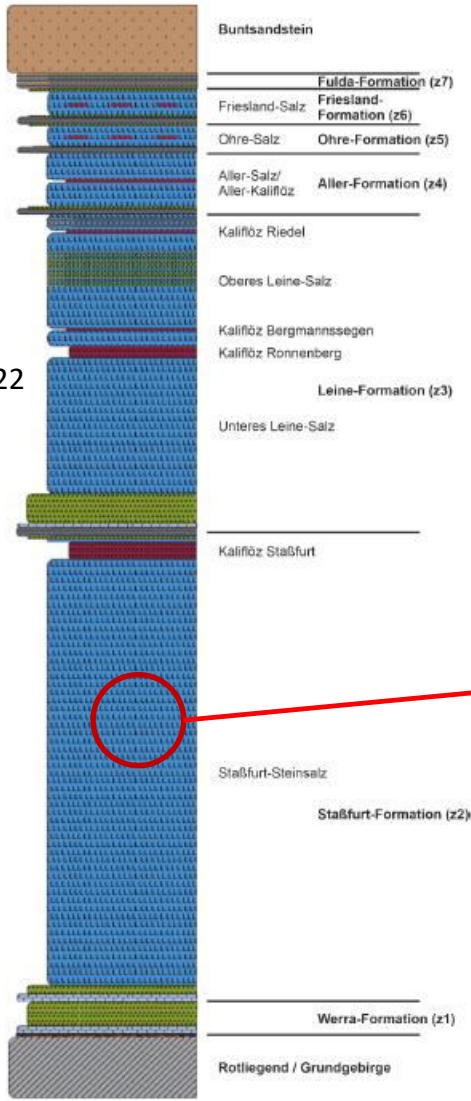
**110 bis 120 °C**

Vorgeschlagene Temperatur hinsichtlich Langzeitsicherheit:

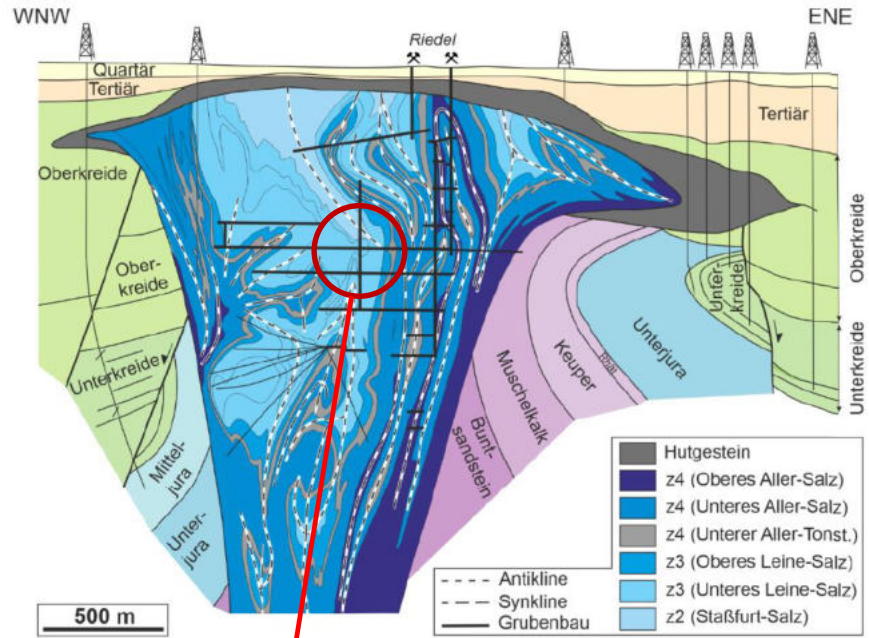
**120 °C**

Begründung: Bewertung der Sicherheitsfunktionen (ALZ / Wirtsgestein)

# Wirtsgestein: Steinsalz



Quelle: BGE, 2022



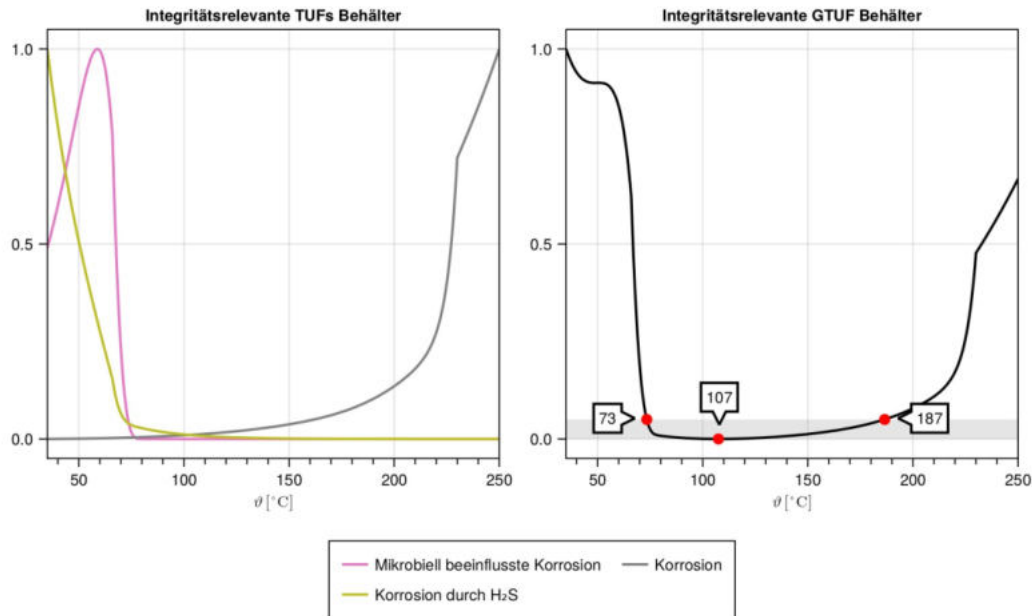
Quelle: BGE, 2022

ewG im Steinsalz möglich



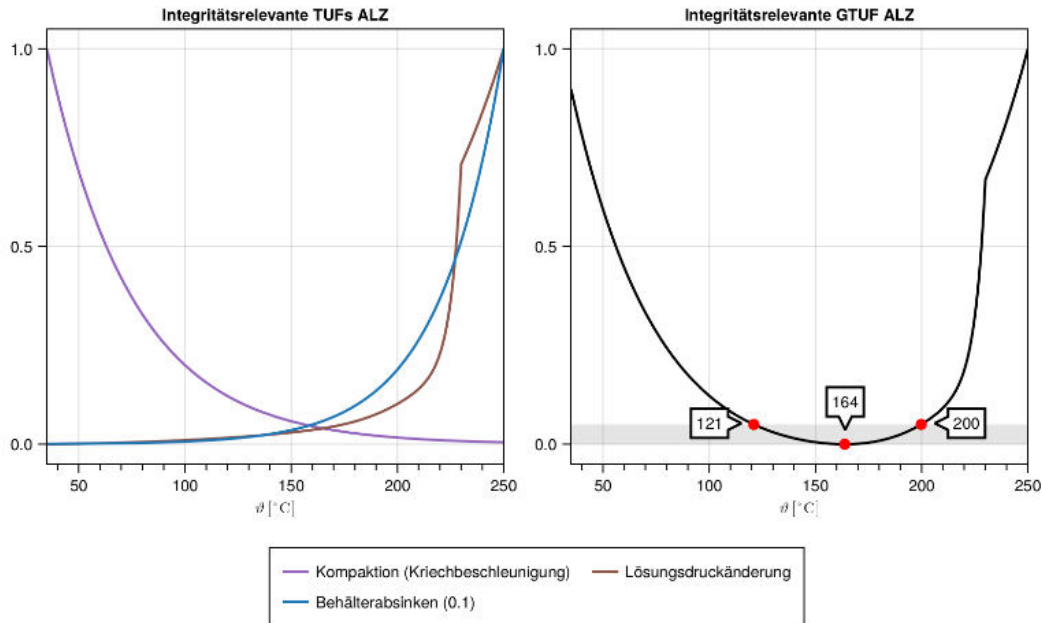
# Steinsalz: Komponente Behälter: Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze [°C]	Minimum GTUF [°C]	Obere Grenze [°C]
Behälter	70	107	190
Versatz			
ALZ			
Wirtsgestein (ewG)			



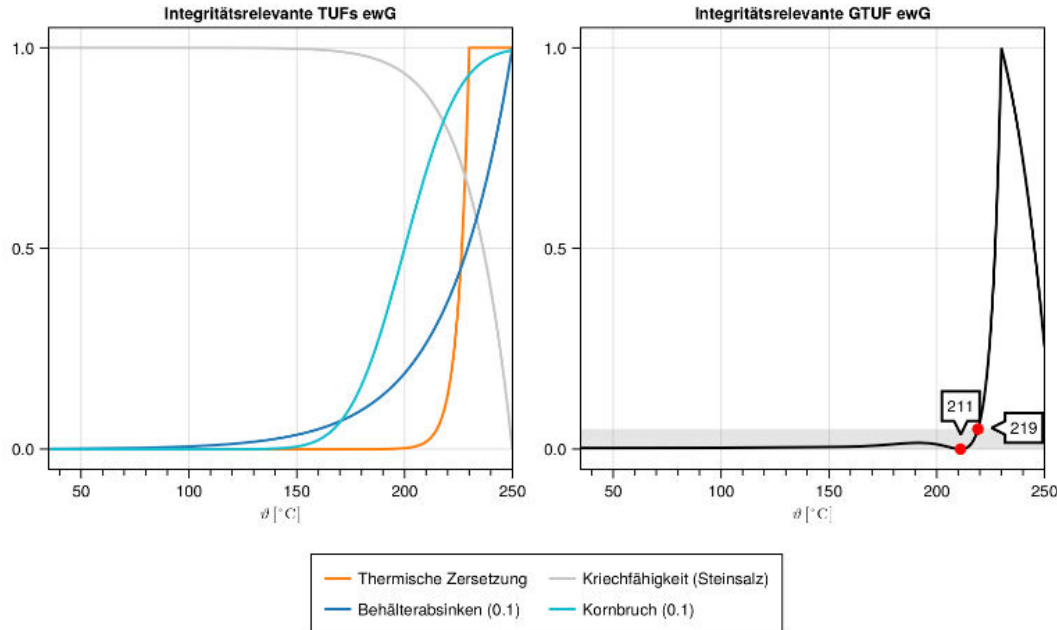
# Steinsalz: Komponente Versatz / ALZ: Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	70	107	190
Versatz	120	164	200
ALZ	120	164	200
Wirtsgestein (ewG)			



# Steinsalz: Komponente Wirtsgestein (ewG): Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	70	107	190
Versatz	120	164	200
ALZ	120	164	200
Wirtsgestein (ewG)	< GBT	211	220





## Steinsalz: Synthese

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	70	107	190
Versatz	120	164	200
ALZ	120	164	200
Wirtsgestein (ewG)	< GBT	211	220

Günstiger Temperaturbereich:

**120 bis 190 °C**

# Steinsalz: Synthese

Komponente	Günstiger Temperaturbereich (Integrität)		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	70	107	190
Versatz	120	164	200
ALZ	120	164	200
Wirtsgestein (ewG)	< GBT	211	220

Komponente	Günstiger Temperaturbereich (Transport)		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	-	-	-
Versatz	120	176	220
ALZ	50	133	210
Wirtsgestein (ewG)	-	-	-

# Steinsalz: Synthese

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	70	107	190
Versatz	120	164	200
ALZ	120	164	200
Wirtsgestein (ewG)	< GBT	211	220

Günstiger Temperaturbereich:

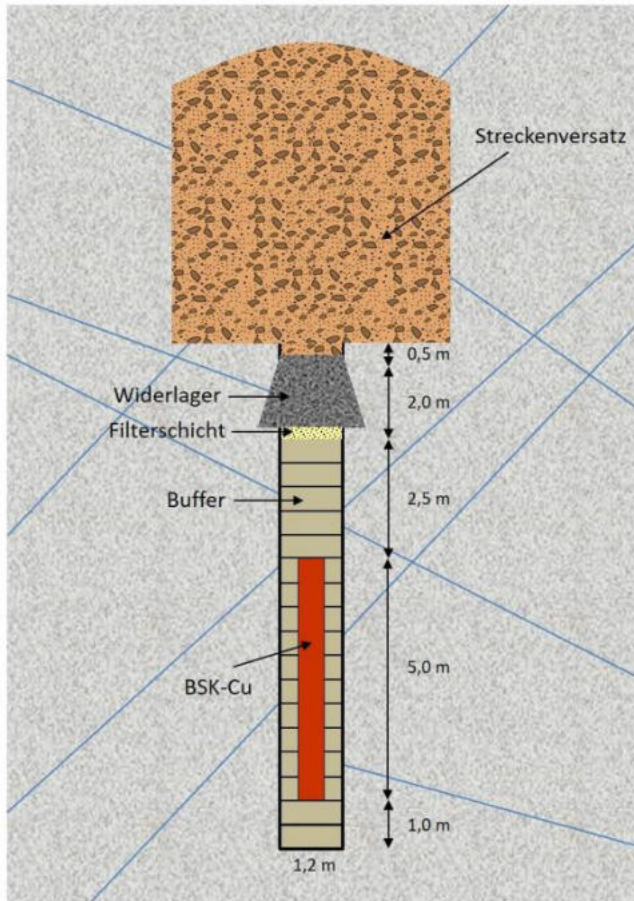
**120 bis 190 °C**

Vorgeschlagene Temperatur hinsichtlich Langzeitsicherheit:

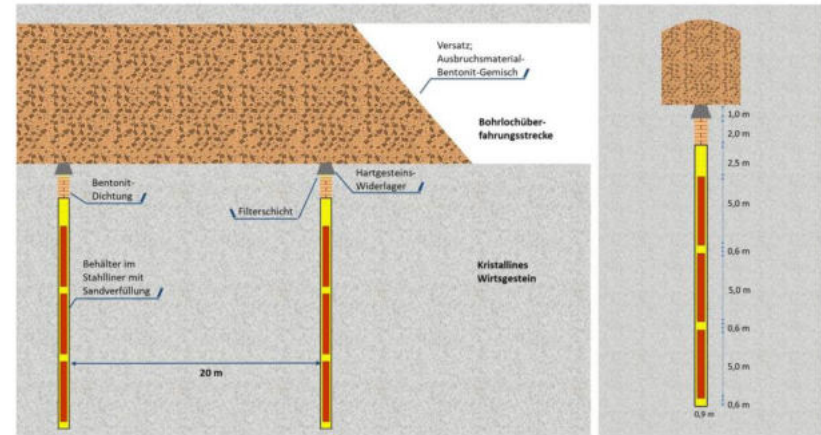
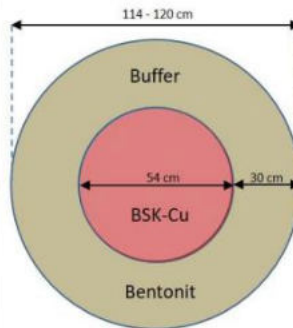
**170 °C**

Begründung: Bewertung der Sicherheitsfunktionen (Versatz)

# Wirtsgestein: Kristalingestein



Modifiziertes KBS-3-Konzept

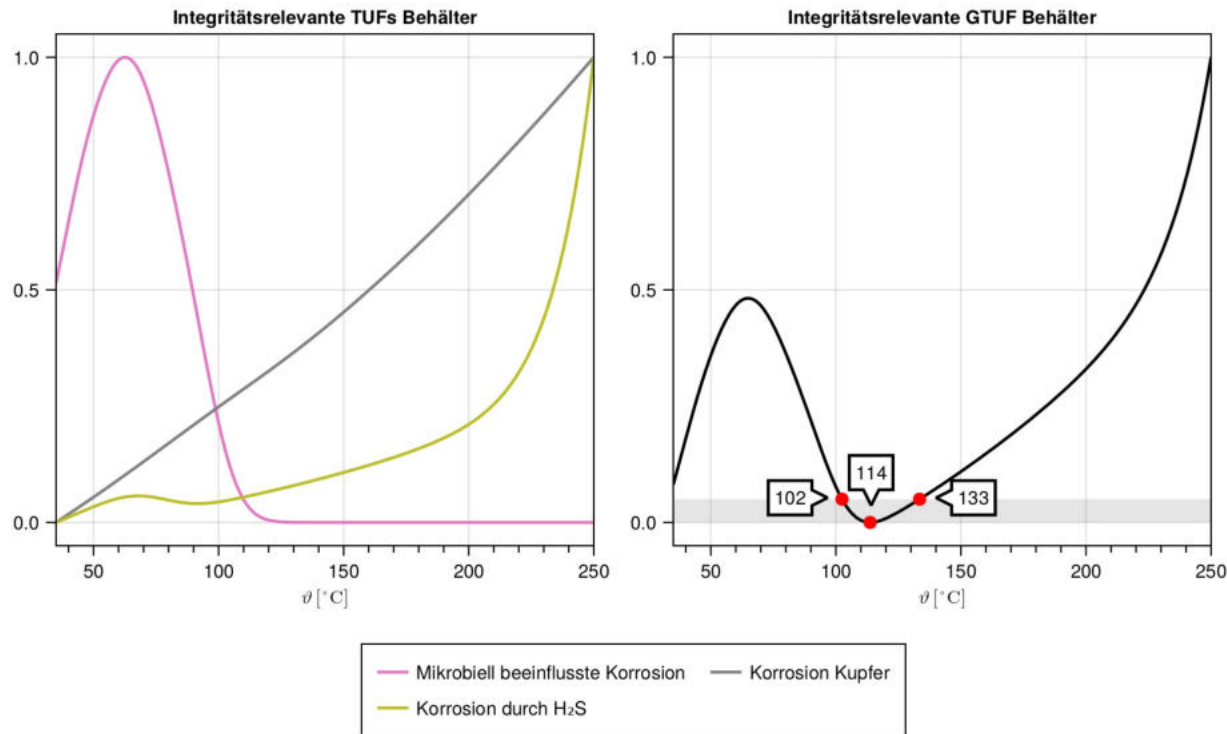


Quelle: BGE Technology (2021)



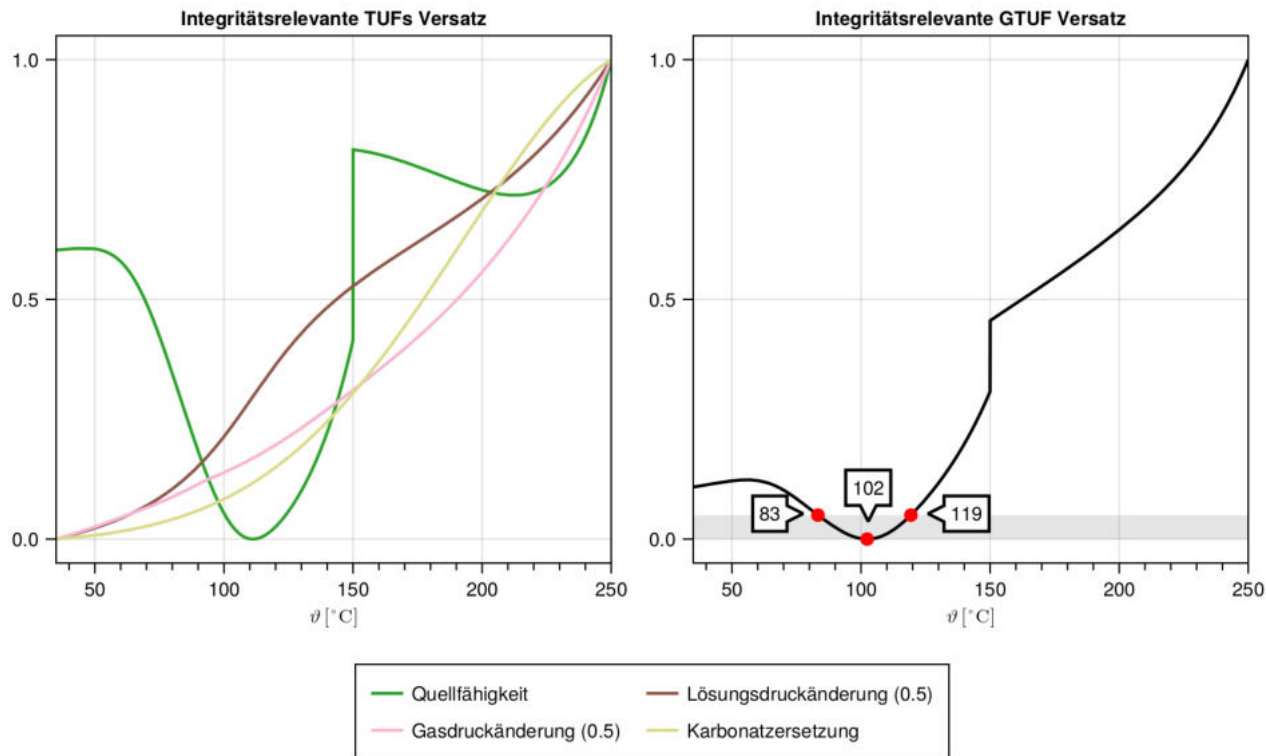
# Kristallingestein: Komponente Behälter: Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	100	114	130
Buffer			



# Kristallingestein: Komponente Buffer: Integrität

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	100	114	130
Buffer	80	102	120



## Kristallingestein: Synthese

Komponente	Günstiger Temperaturbereich		
	Untere Grenze	Minimum GTUF	Obere Grenze
Behälter	100	114	130
Buffer	80	102	120

Günstiger Temperaturbereich:

**100 bis 120 °C**

Vorgeschlagene Temperatur hinsichtlich Langzeitsicherheit:

**110 °C**

Begründung: Bewertung der Sicherheitsfunktionen (Behälter)

## Zusammenfassung

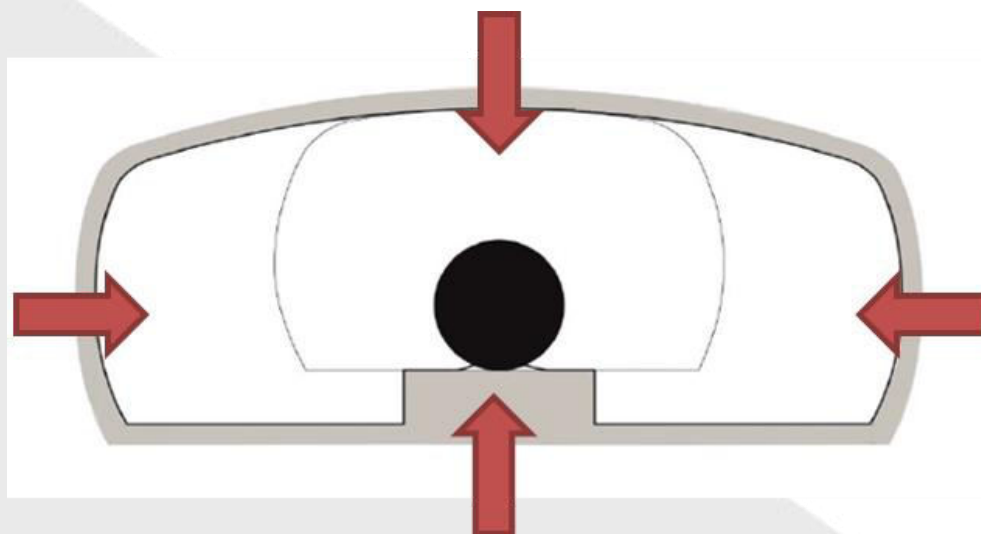
- Temperaturverträglichkeiten für die in D in Frage kommenden Wirtsgesteine werden ermittelt
  - Komponentenweise (Änderungen im Konzept können eingepflegt werden)
  - ~ 1.200 einwirkende Prozesse und Ereignisse wurden ausgewertet
- Temperaturverträglichkeiten sollen Grundlage für die Diskussion zur Festlegung von Auslegungstemperaturen für vSU sein:
  - Tongestein: 120 °C
  - Salzgestein: 170 °C
  - Kristallin: 110 °C
- **Priorisierung:** TUF behandeln ausgewählte THMCBR-Prozesse, die als langzeitsicherheitlich relevant eingestuft werden
- Die dargestellten TUF sind Ausdruck der Interpretation des gegenwärtigen Standes von Wissenschaft und Technik durch die GRS
- **Adaptives Verfahren:** abweichende Ansichten können durch zusätzliche TUF, Wichtungen von TUF oder Änderung von TUF eingepflegt und die Auswirkungen schnell visualisiert werden

## Referenzen

- BGE (2022): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß EndSiUntV. Stand 28.03.2022, Bundesgesellschaft für Endlagerung, Peine.  
[Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung \(bge.de\)](#)
- BGE TECHNOLOGY: Methodisches Vorgehen zur sicherheitlichen Bewertung von Endlagersystemen im Kristallin in Deutschland. Synthesebericht CHRISTA-II, FKZ 02E11617, BGE TEC 2021-17, Peine.  
[Methodisches Vorgehen zur sicherheitlichen Bewertung von Endlagersystemen im Kristallin in Deutschland \(bge-technology.de\)](#)
- Freeze, G., Sevougian, S.D., Kuhlman, K., Gross, M., Wolf, J., Buhmann, D., Bartol, J, Leigh, C., Mönig, J. (2020): Generic FEPs Catalogue and Salt Knowledge Archive. Sandia Report, SAND2020-13186 Sandia National Lab., Albuquerque, NM.  
[1815346 \(osti.gov\)](#)
- Hanson, F,D., Leigh, C.D. (2011): Salt Disposal of Heat-Generating Nuclear Waste. Sandia Report, SAND2011-0161, Sandia National Lab., Albuquerque, NM.  
[SAND2011-0161 \(sandia.gov\)](#)
- Kuhlman, K. L., Malama, B. (2013): Brine flow in heated geologic salt. Sandia Report, SAND2013-1944, Sandia National Lab., Albuquerque, NM.  
[SAND2013-1944 \(osti.gov\)](#)



**Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!**



# Grenztemperaturen – Einschätzung betrieblicher Machbarkeit

Niklas Bertrams

# Zielsetzung der Arbeiten

## Einschätzung der betrieblichen Machbarkeit der Grenztemperaturen

Einlagerungsbetrieb und Rückholbarkeit bei

- 170 °C im Steinsalz
- 120 °C im Tongestein
- 110 °C im kristallinen Wirtsgestein

Kernaspekte der Machbarkeit:

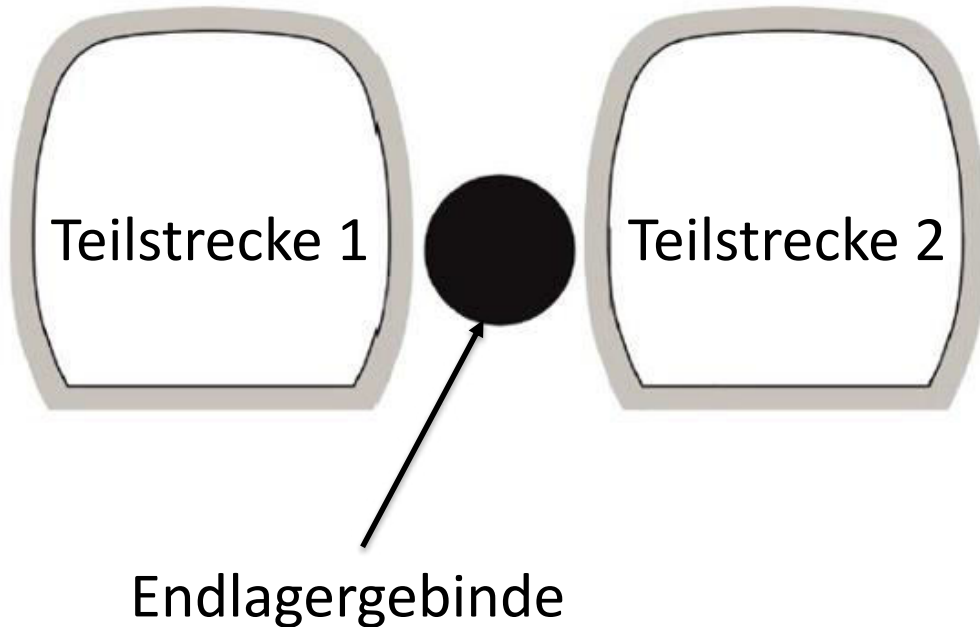
- Wenn die Rückholung machbar ist, ist es auch der Einlagerungsbetrieb.
- Sind die klimatischen Bedingungen in den Strecken bei entsprechender Grenztemperatur derart, dass sie den Einsatz von Personen erlauben (Grenzwerte der KlimaBergV)?
- Ist es möglich, die Strecken bei entsprechender Grenztemperatur über einen ausreichenden Zeitraum offen zu halten, um die betrieblichen Arbeiten durchzuführen?

# Grundlagen/Referenzen

- Einlagerungskonzepte:
  - [Anlage zur BGE Methodik für die rvSU](#)
  - Aktuelle Arbeiten im Rahmen der rvSU
  
- Rückholungskonzepte:
  - F&E Projekt ERNESTA:
    - [Rückholung aus Streckenlagerung im Steinsalz](#)
    - [Rückholung aus Streckenlagerung im Tongestein](#)
  - Rückholungskonzept SKB/Posiva Oy: [SKB TR-14-19](#)
  - Rückholungskonzept NAGRA: [NAB 21-13](#)
  
- Konvergenz im Steinsalz: [Prijt \(1991\)](#)

# Rückholungsprozess im Steinsalz

Schritt 1:  
Auffahren von Teilstrecken

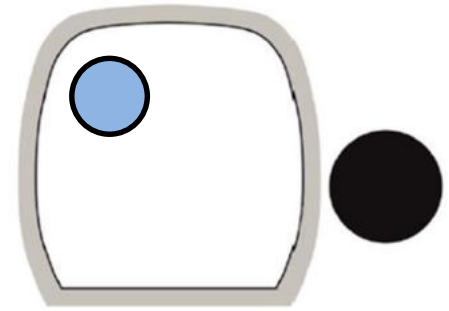


Schritt 2:  
Auffahren der Rückholungsstrecke



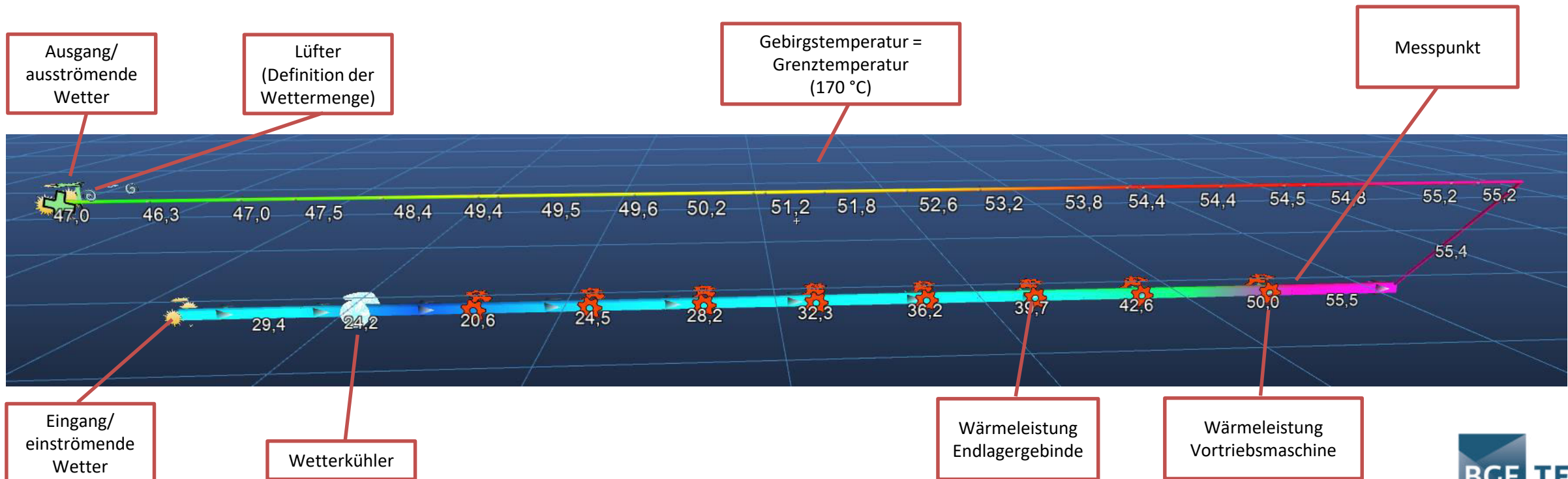


# Klimamodell im Steinsalz



Modellierung der „heißesten“ Betriebssituation in VentSim™:

- Die erste Teilstrecke wurde fast vollständig aufgefahren, ist aber noch nicht durchschlänglich
- Es wurde noch kein Endlagergebäude zurückgeholt
- Die Gebirgstemperatur entspricht der Grenztemperatur

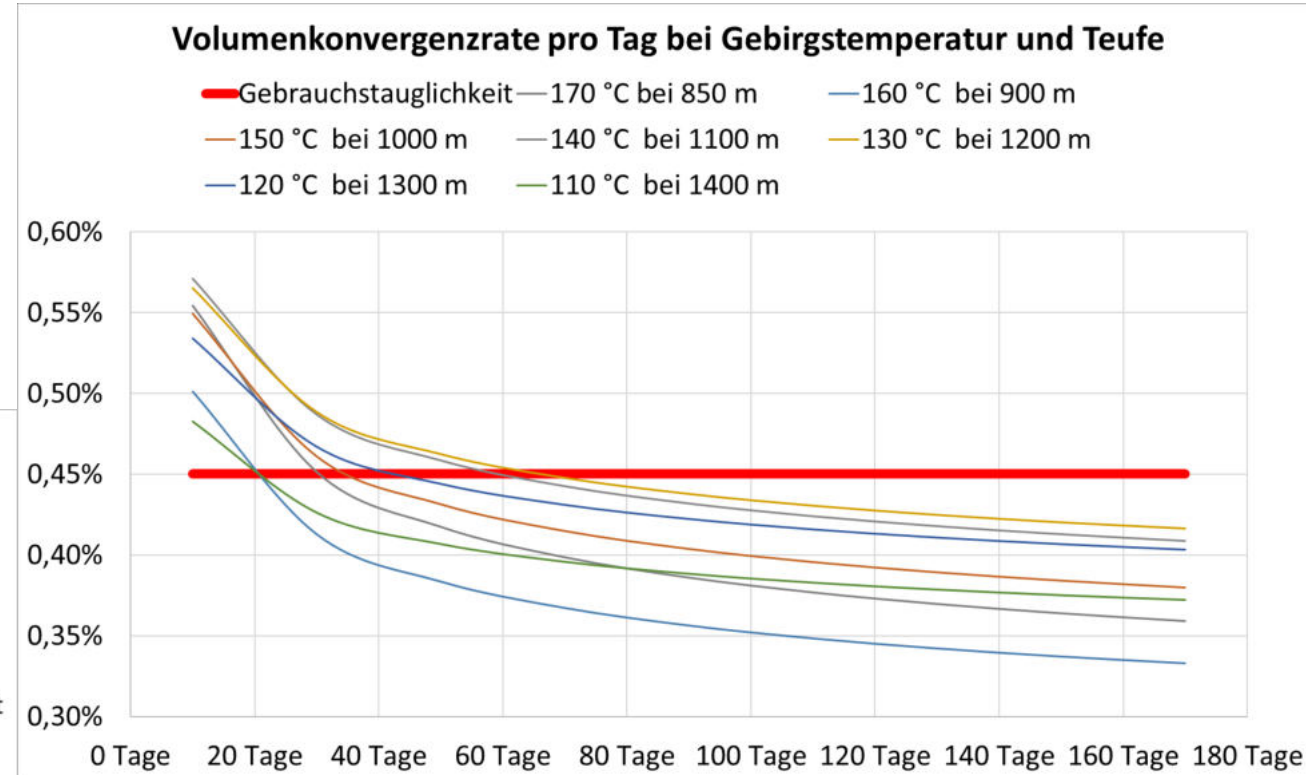
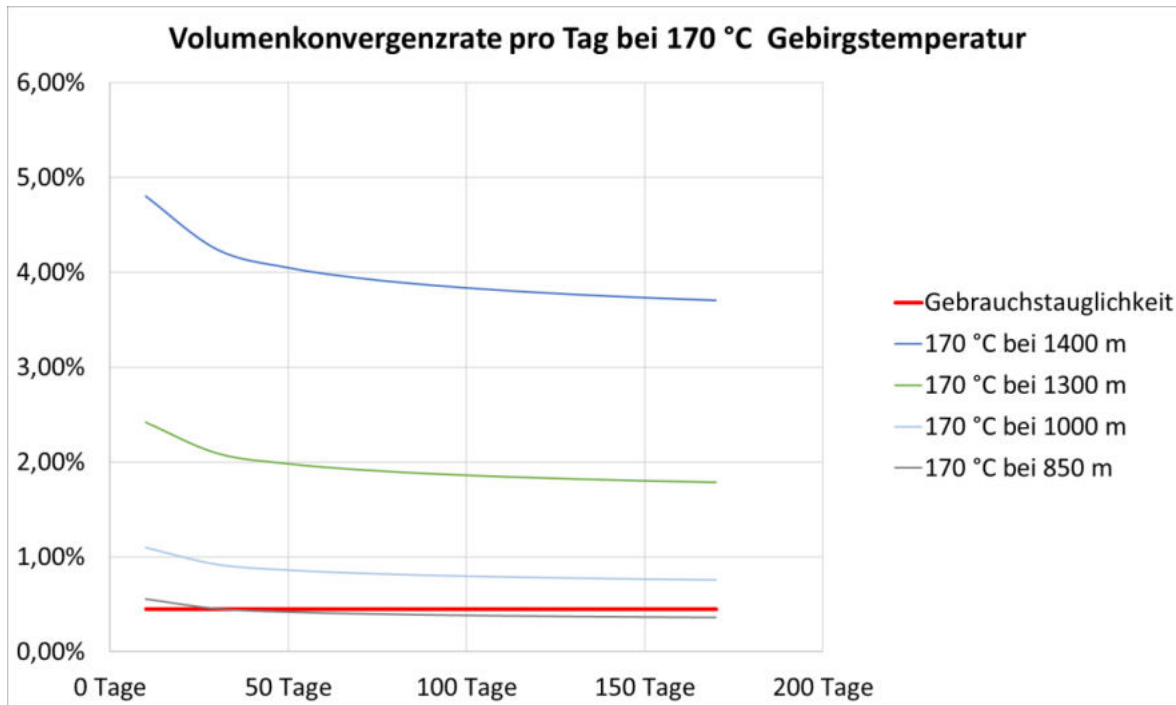
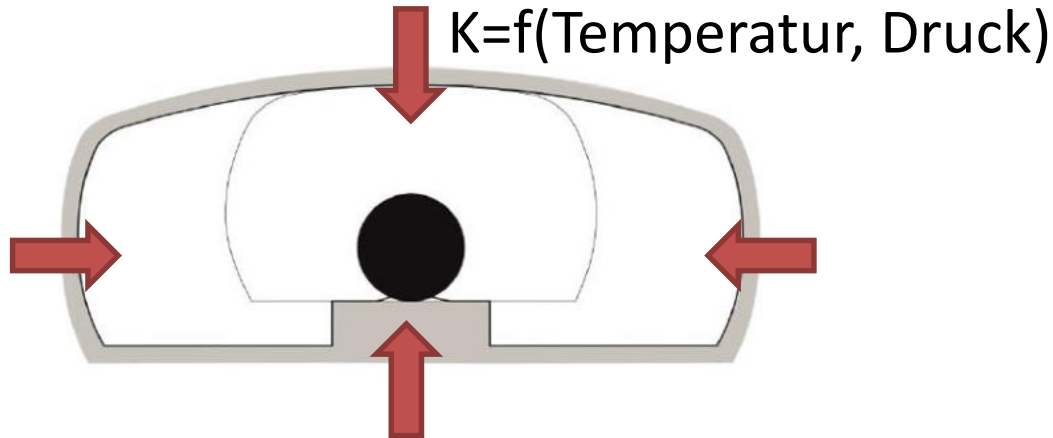


# Ergebnisse und Interpretation für Steinsalz

Nr	Eingangsdaten				Simulationsergebnisse		
	Wetterstrom m <sup>3</sup> /s	Wärmeleistung kW/m	Kühlleistung kW	Initiale feuchte Luft %	Trocken-temperatur °C !< 52 °C	Feucht-temperatur °C !< 27 °C	Bewertung KlimaBergV
01	15	0,5	320	50	52,1	27,5	Nicht o.k.
02	10	0,5	320	50	70,1	31,1	Nicht o.k.
03	20	0,5	320	50	43,7	25,7	o.k.
04	15	0,4	320	50	50,0	26,9	o.k.
05	15	0,6	320	50	54,3	28,1	Nicht o.k.
06	15	0,5	230	50	54,6	28,8	Nicht o.k.
07	15	0,5	350	50	51,1	27,1	Nicht o.k.
08	15	0,5	320	40	50,0	26,1	o.k.
09	15	0,5	320	60	54,1	28,8	Nicht o.k.

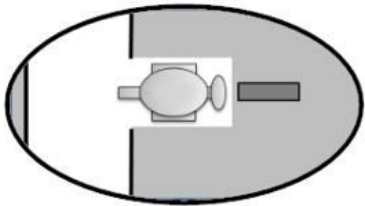
→ Trotz thermisch sehr ungünstigen Randbedingungen:  
Beherrschung des Klimas durch technische Maßnahmen möglich

# Offenhaltung der Rückholungsstrecken - Steinsalz

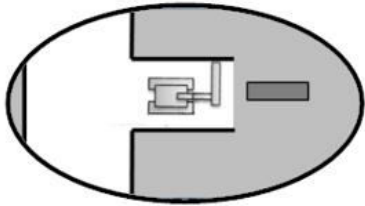


- Gebirgstemperatur  $\neq$  Grenztemperatur
- Ausbaumaßnahmen?

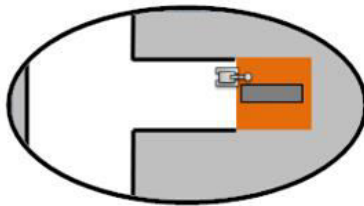
# Rückholungsprozess im Tongestein



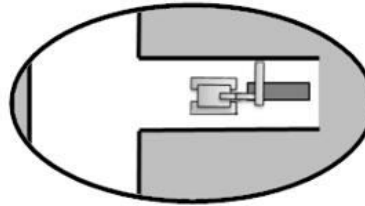
Neuauffahrung



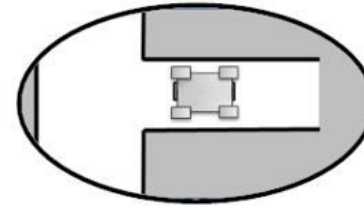
Zwischensicherung



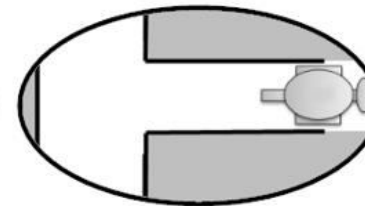
Freilegen  
Endlagergebinde



Zwischensicherung

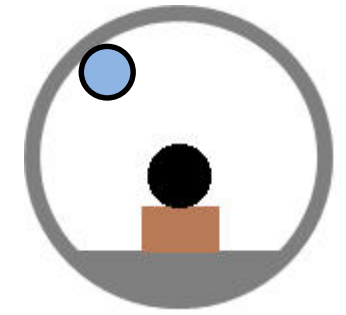


Entnahme Behälter



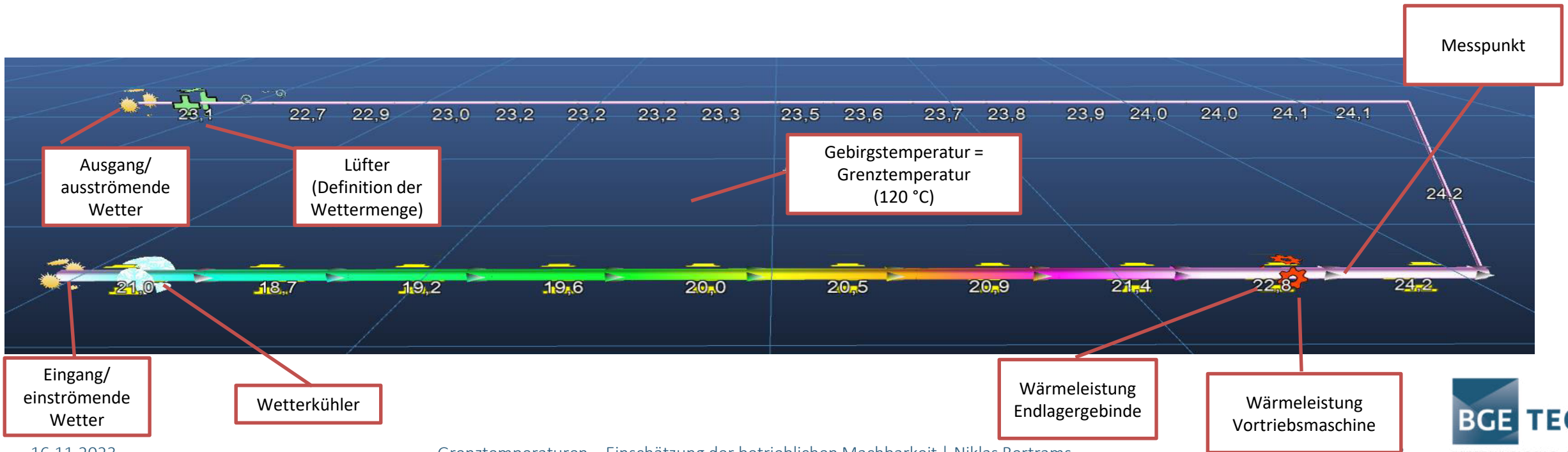
Neuauffahrung

# Klimamodell im Tongestein



Modellierung der „heißesten“ Betriebssituation in VentSim™:

- die Rückholung in der Einlagerungsstrecke ist am letzten Endlagergebäude angekommen, so dass die maximale Länge aufgeheizten Gebirges von den Wettern durchströmt wird
- Die Gebirgstemperatur entspricht der Auslegungstemperatur
- Keine Abkühlung des Gebirges durch andauernde Bewetterung





# Ergebnisse und Interpretation für Tongestein

Nr	Eingangsdaten				Simulationsergebnisse				
	Wetterstrom m <sup>3</sup> /s	Wärmeleistung kW/m	Kühlleistung kW	Initiale Luftfeuchte %	Trockentemp. °C	Feuchtemp. °C	Wettergeschw. m/s	Effektivtemperatur (!< 30 °C) °C	Bewertung KlimaBergV
01	15	0,14	320	70	35,3	24,1	1,7	27,2	o.k.
02	10	0,14	320	70	42,3	24,7	1,2	29,8	o.k.
03	20	0,14	320	70	32,1	23,9	2,3	25,5	o.k.
04	15	0,1	320	70	35,2	24,1	1,7	27,0	o.k.
05	15	0,2	320	70	35,5	24,1	1,7	27,2	o.k.
06	15	0,14	230	70	37,0	25,4	1,7	28,4	o.k.
07	15	0,14	350	70	34,8	23,6	1,7	26,8	o.k.
08	15	0,14	320	60	33,5	22,5	1,7	26,0	o.k.
09	15	0,14	320	80	37,1	25,6	1,7	28,6	o.k.

# Offenhaltung der Rückholungsstrecken - Tongestein

- Zustand des vorhandenen Ausbaus bei Rückholung ungewiss:
  - Geraubt?
  - Beschädigt?
  - Intakt?
- Bei Rückholung kann das Gebirge durch umfangreiche technische Mittel aus dem Berg- und Tunnelbau zur Sicherung des Hohlraum beherrscht werden
  - Gebirgsanker
  - Spritzbeton
  - Injektionen
  - Stahlbogenausbau
  - ...
- Thermische Bedingungen nach kurzer Kühlzeit im Bereich von im Bergbau bereits beherrschten Temperaturen

# Rückholungsprozess im kristallinen Wirtsgestein

- Verschlämmen der Bentonitverfüllung durch eingepumpte Salzlösung
- Abpumpen des Schlammes
- Ziehen des Endlagergebindes

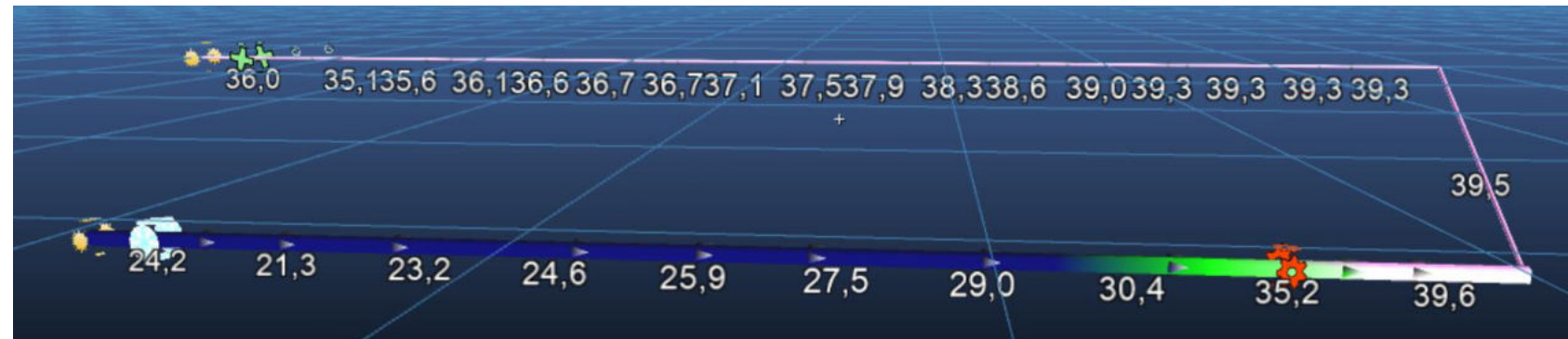
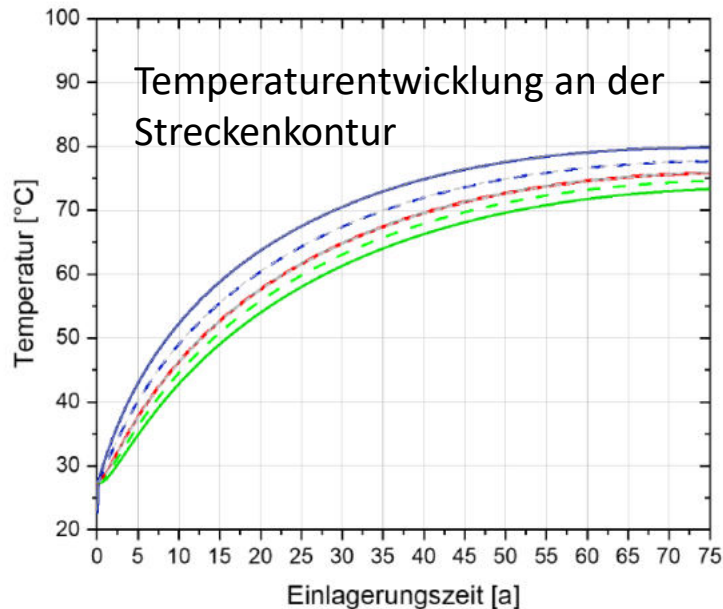


Quelle: [www.Posiva.fi](http://www.Posiva.fi)

# Klimamodell im kristallinen Wirtsgestein

Modellierung der „heißesten“ Betriebssituation in VentSim™:

- Die Strecke oberhalb der Bohrlöcher wurde fast vollständig aufgefahren (Vortrieb noch laufend)
- Es wurde noch kein Endlagergebäude zurückgeholt
- Die Gebirgstemperatur entspricht 100 °C



# Ergebnisse und Interpretation für kristallines Wirtsgestein

Nr.	Eingangsdaten				Simulationsergebnisse				
	Wetterstrom m <sup>3</sup> /s	Kühlleistung kW	Initiale Luftfeuchte %	Lufttemp. °C	Trocken-temp. °C	Feucht-temp. °C	Wettergeschw. m/s	Effektivtemperatur (!< 30 °C) °C	Bewertung KlimaBergV
01	15	320	70		37,6	25,0	1,0	28,7	o.k.
02	10	320	70		45,5	26,0	0,7	31,2	Nicht o.k.
03	20	320	70		33,9	24,5	1,3	27,0	o.k.
06	15	230	70		39,1	26,2	1,0	29,8	o.k.
07	15	350	70		37,0	24,5	1,0	28,2	o.k.
08	15	320	60		35,7	23,5	1,0	27,4	o.k.
09	15	320	80		39,3	26,4	1,0	30,0	Nicht o.k.

- Beherrschung des Klimas durch technische Maßnahmen möglich



# Offenhaltung der Rückholungsstrecken – kristallines Wirtsgestein

- Kristallines Wirtsgestein ist sehr standfest
- In der Strecke auftretende Temperaturen liegen in der Größenordnung derer, die im Gewinnungsbergbau schon beherrscht wurden (z.B. deutsche Steinkohle)
- Evtl. konturnahe Schädigungen/Abplatzungen
- Ausbaumaßnahmen:
  - Ankerung
  - Spritzbeton

# Zusammenfassung: Klimatische Bedingungen und Offenhaltung im Tongestein und kristallinen Gestein

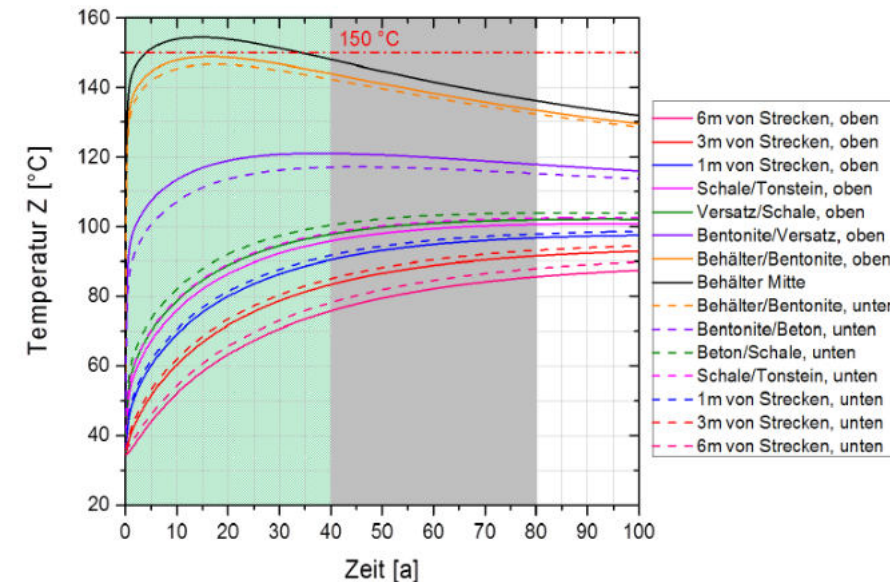
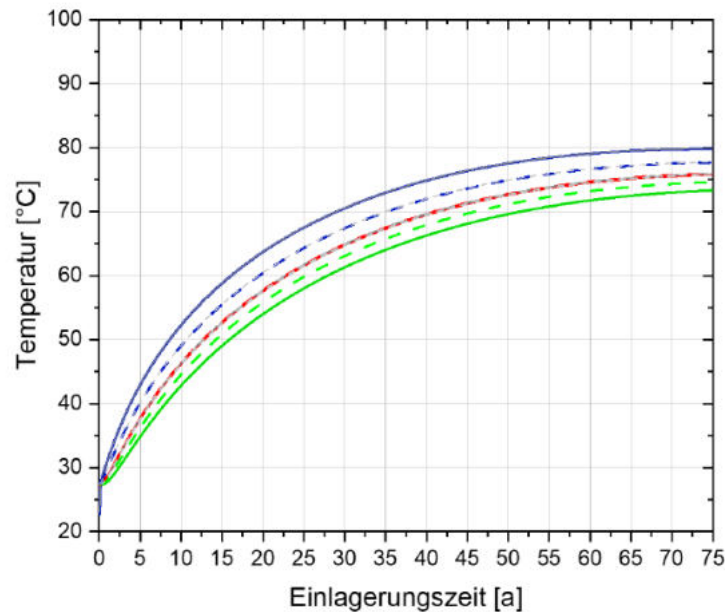
- Grenztemperatur von 120 °C und 110 °C
  - Gebirgstemperatur bei Rückholung deutlich unter 100 °C zu erwarten
- Verhältnisse nachweisbar im Gewinnungsbergbau beherrschbar

Beispiel Tongestein  
(Grenztemperatur von 150 °C)

Temperaturentwicklung an  
verschiedenen Messpunkten

Beispiel Kristallines Gestein  
(Grenztemperatur: 100 °C)

Temperaturentwicklung an  
der Streckenkontur



# Zusammenfassung

Trotz Wahl sehr nachteiliger Annahmen:

- Steinsalz (170 °C)
  - Grenzwerte der KlimaBergV können mit technischen Maßnahmen vor Ort erreicht werden
  - Bei Endlagerauslegung sollten Gebirgstemperatur und resultierende Konvergenz v.a. in Teufen größer als 1 000 m gegen die Gebrauchstauglichkeit geprüft werden
- Tongestein (120 °C) & Kristallines Wirtsgestein (110 °C)
  - Grenzwerte der KlimaBergV können mit technischen Maßnahmen vor Ort erreicht werden
  - Beherrschung des Gebirges durch Kühlung und Ausbaumaßnahmen
- Weitere Maßnahmen, v.a. Kühlung des Hauptwetterstroms, können die auftretenden Wettertemperaturen weiter senken

Das heißt nicht, dass die Bedingungen für eine Rückholung günstig sind!