BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

3. FORUM ENDLAGERSUCHE – AG 8

Arbeitsstände zur vorläufigen Endlagerauslegung

DR. THOMAS LOHSER

Würzburg, 23.11.2024

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

AGENDA

Arbeitsstände zur vorläufigen Endlagerauslegung

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

01 REGULATORISCHE VORGABEN UND VORGEHENSWEISE

02 GRUNDLAGEN

03 AUSLEGUNG DER INFRASTRUKTURBEREICHE

04 ENDLAGERKONZEPT TONGESTEIN

05 ENDLAGERAUSLEGUNG TONGESTEIN

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

AGENDA

Arbeitsstände zur vorläufigen Endlagerauslegung

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

06 ENDLAGERKONZEPT UND -AUSLEGUNG FÜR KRISTALLINES WIRTSGESTEIN

07 ENDLAGERKONZEPT UND -AUSLEGUNG FÜR STEINSALZ

08 FLÄCHENBEDARF EINES ZUSÄTZLICHEN SMA-ENDLAGERS

09 AUSBLICK

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

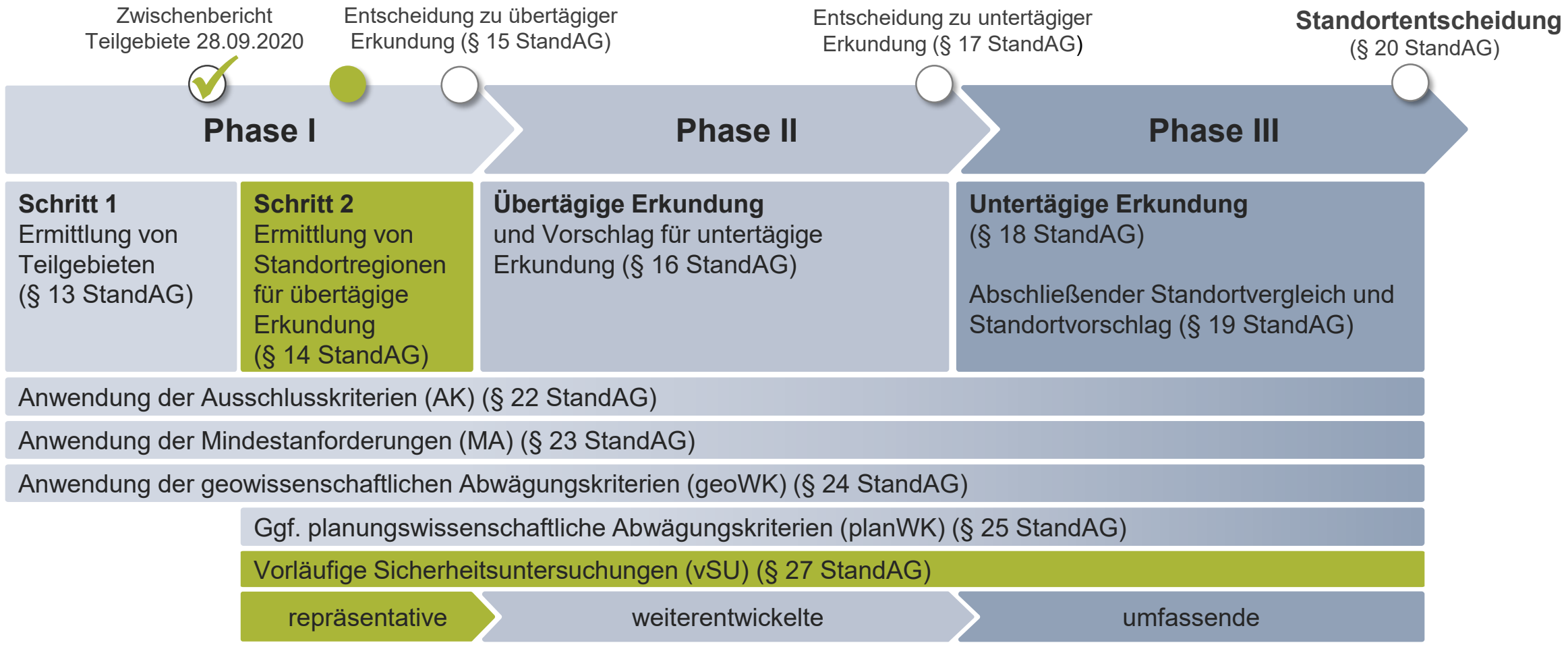
REGULATORISCHE VORGABEN UND VORGEHENSWEISE

01

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

STANDORTAUSWAHLVERFAHREN

Ablauf der Verfahrensschritte – Beispiel rvSU

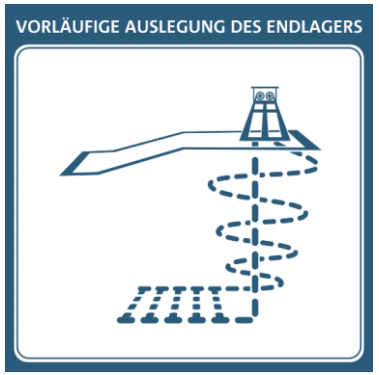


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

VORLÄUFIGE AUSLEGUNG DES ENDLAGERS

Gesetzlicher Auftrag für rvSU – § 6 Abs. 4 EndlSiUntV



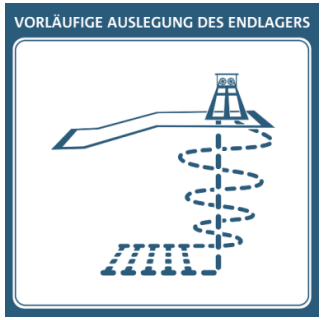
Quelle: BGE

1. *„die Beschreibung der wesentlichen Barrieren nach § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV, deren grundlegende Eigenschaften und deren räumliche Erstreckung sowie die Beschreibung der weiteren Barrieren des Endlagersystems,*
2. *die maximale Größe eines möglichen Endlagerbergwerkes, einschließlich der Zugangs- und Bewetterungsbauwerke und der Infrastrukturbereiche, sowie die geplante Tiefenlage,*
3. *die geplante Art der Einlagerung,*
4. *mögliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Rückholbarkeit bereits eingelagerter Endlagergebinde,*
5. *mögliche Verschluss- und Versatzmaßnahmen und*
6. *mögliche Maßnahmen zur Geringhaltung der Schädigung der wesentlichen Barrieren während der Erkundung, der Errichtung, dem Betrieb und der Stilllegung des Endlagers.“*

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

VORLÄUFIGE AUSLEGUNG DES ENDLAGERS

Überblick Vorgehensweise



Grundlagen
- Inventardaten
- Wirtsgesteinseigenschaften
- Vorläufiges Sicherheitskonzept (einschl. **Beschreibung der Barrieren**)

Layout des Endlagerbergwerks

Gebirgsmechanische Auslegung des Strecken-systems und der zulässigen min. Streckenabstände

Thermische Berechnung zur Ermittlung der Behälteranzahl

Berechnung der Fläche der Einlagerungsfelder

Beschreibung des Bedarfs an untertägigen Infrastruktureinrichtungen inkl. Tageszugängen

Berechnung des Flächenbedarfs für **Infrastruktureinrichtungen**

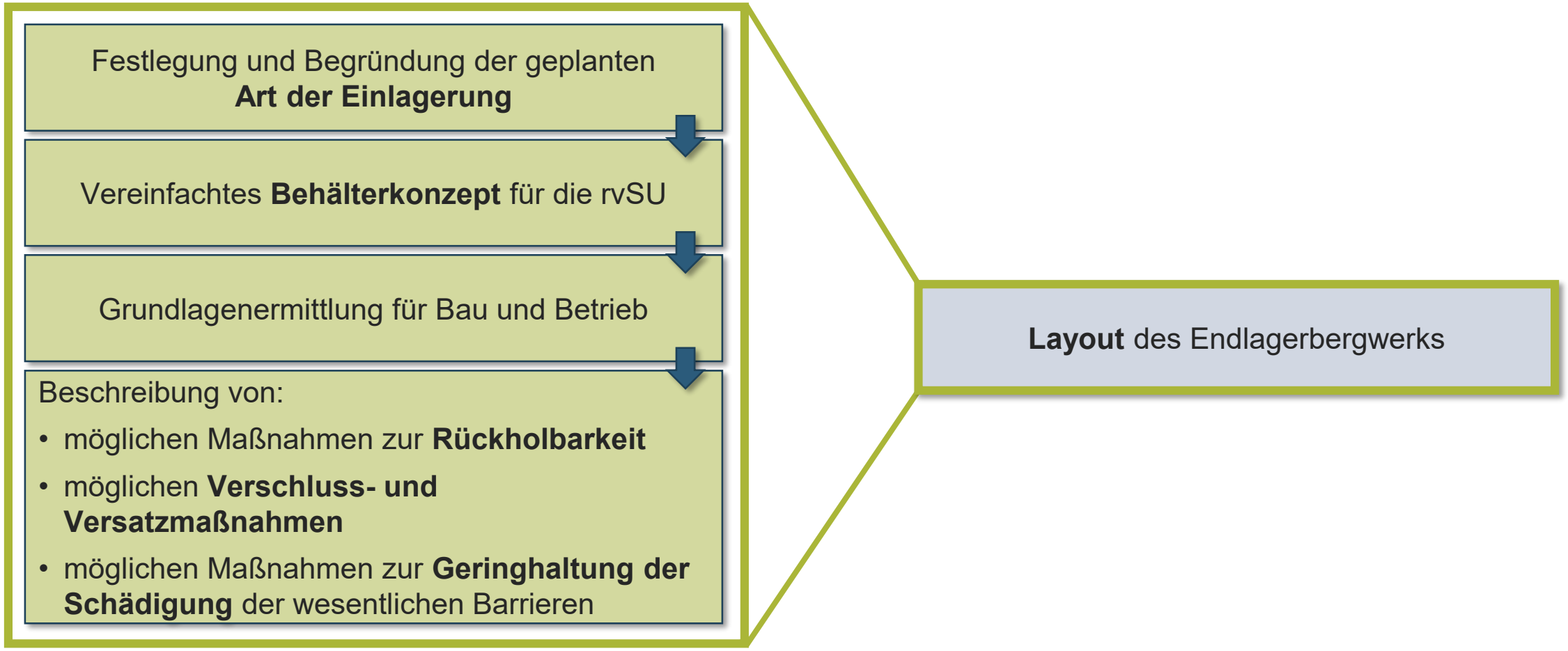
Berechnung des **Endlagerflächenbedarfs**

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

VORLÄUFIGE AUSLEGUNG DES ENDLAGERS

Vorgehensweise Festlegung des Layouts des Endlagerbergwerks



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ZIELSTELLUNG UND INHALT

Endlagerauslegung im Rahmen der rvSU

- Insgesamt werden 5 grundlegende Endlagerkonzepte und -auslegungen inkl. Bestimmung des Endlagerflächenbedarfs erarbeitet (s. TOP 1 bis 7 des Vortrags)
  - Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor
  - Tongestein mit mittlerem Beanspruchungsfaktor
  - Tongestein mit geringem Beanspruchungsfaktor

  } Unterteilung der Tongesteine in 3 Klassen (siehe TOP 4)

  - Kristallines Wirtsgestein
  - Steinsalz
- Zusätzliche Erarbeitung der Endlagerauslegung für ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (SMA) (TOP 8 bis 9 des Vortrags)

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

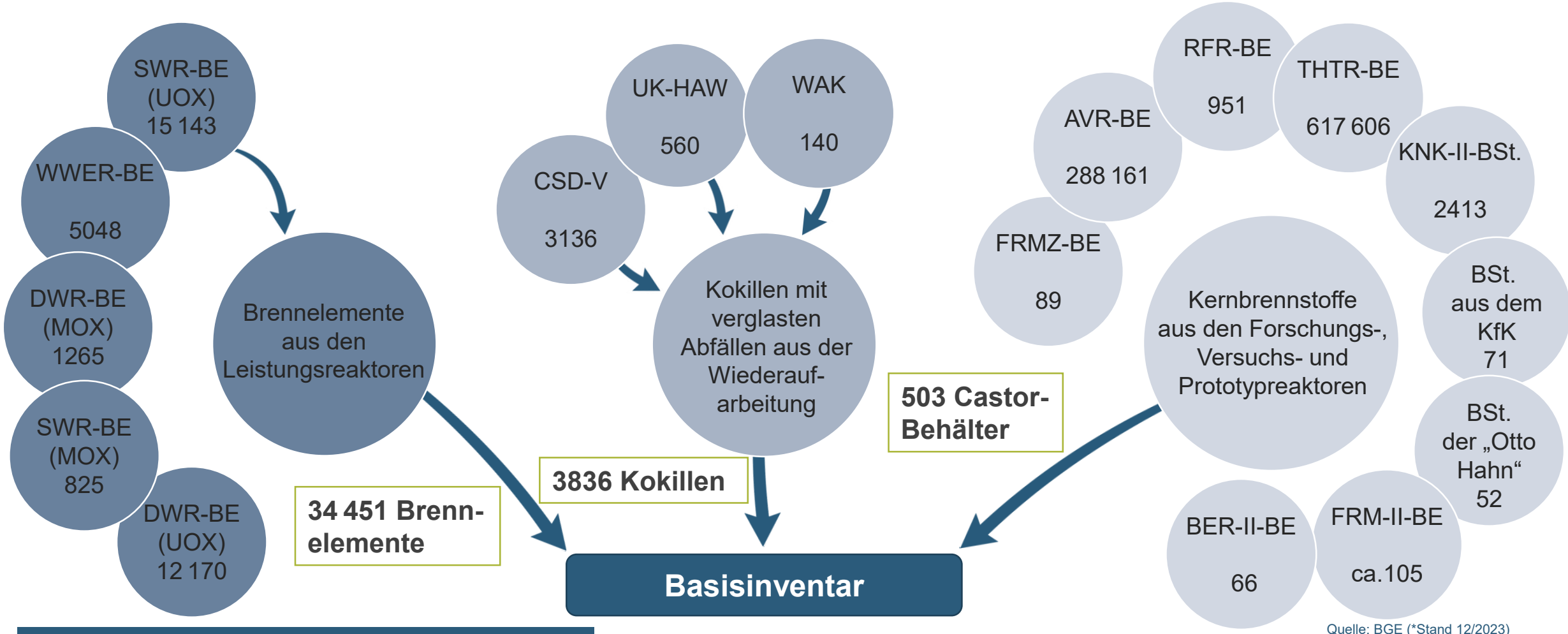
GRUNDLAGEN

02

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GRUNDLAGEN

Für die rvSU zusammengetragenes Abfallinventar*



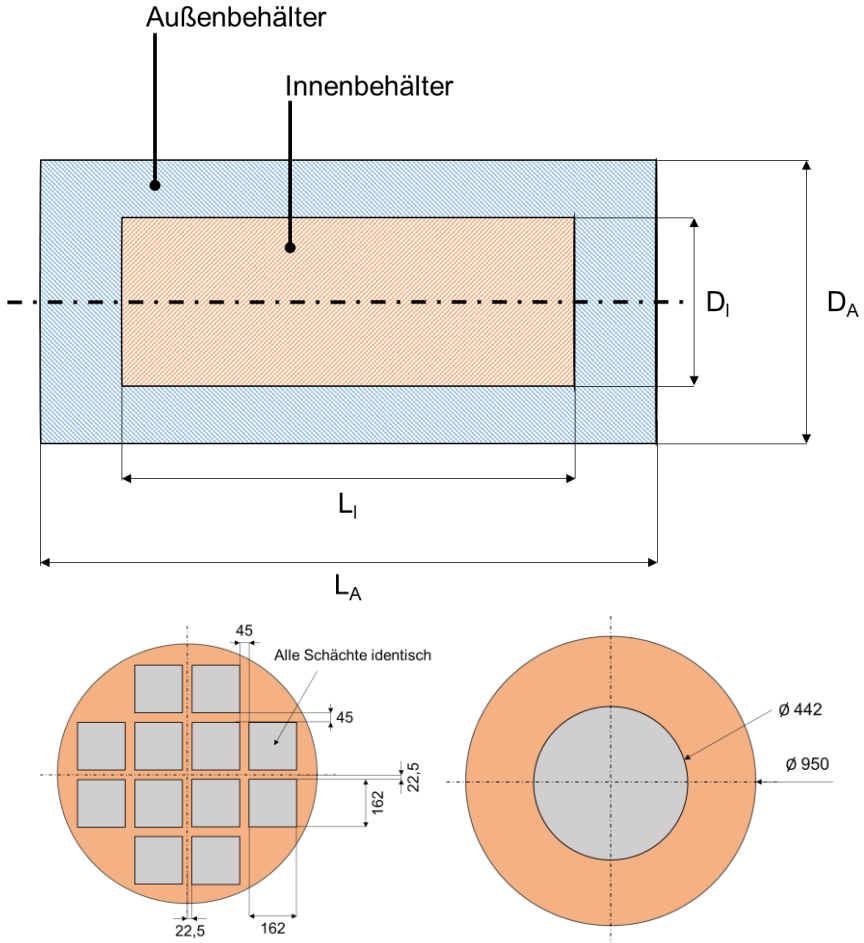
Quelle: BGE (*Stand 12/2023)

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GRUNDLAGEN

Vereinfachtes Behälterkonzept für die rvSU

- Notwendige Annahmen für die Behälter (Geometrien und thermische Eigenschaften für die thermische Modellierung) im Rahmen der rvSU orientieren sich an weit fortgeschrittenen internationalen Behälterkonzepten
  - Steinsalz und Tongestein: Innen- und Außerbehälter
  - In kristallinem Wirtsgestein ist der Innenbehälter anstelle des Außenbehälters mit einer Kupferschicht umgeben (vgl. KBS-3)
- Für Brennelemente (BE) aus den Forschungs- und Entwicklungs-reaktoren vereinfachte Annahme, dass die Endlagerbehältergeometrie der Geometrie der Zwischenlagerbehälter entspricht



Oben: Skizze des Behälters
Unten: Skizze des Innenbehälters (links SWR-BE, rechts Kokillen)

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Mögliche Maßnahmen zur Geringhaltung der Schädigung der wesentlichen Barrieren

- Nach § 6 Abs. 4 Nr. 6 EndlSiUntV sind „*mögliche Maßnahmen zur Geringhaltung der Schädigung der wesentlichen Barrieren während der Erkundung, der Errichtung, dem Betrieb und der Stilllegung des Endlagers*“ zu nennen
- Betrachtung ortsunabhängiger Maßnahmen (siehe BGE (2022/2))
- Beispiele:
  - Hohlraumvermeidung/-minimierung und -verfüllung
  - Minimierung der Offenhaltungsdauer
  - Gebirgsschonendes Auffahren und Betrieb
  - Geringhaltung chemisch und thermisch induzierter Schädigungen des ewG bzw. Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

AUSLEGUNG DER INFRASTRUKTURBEREICHE

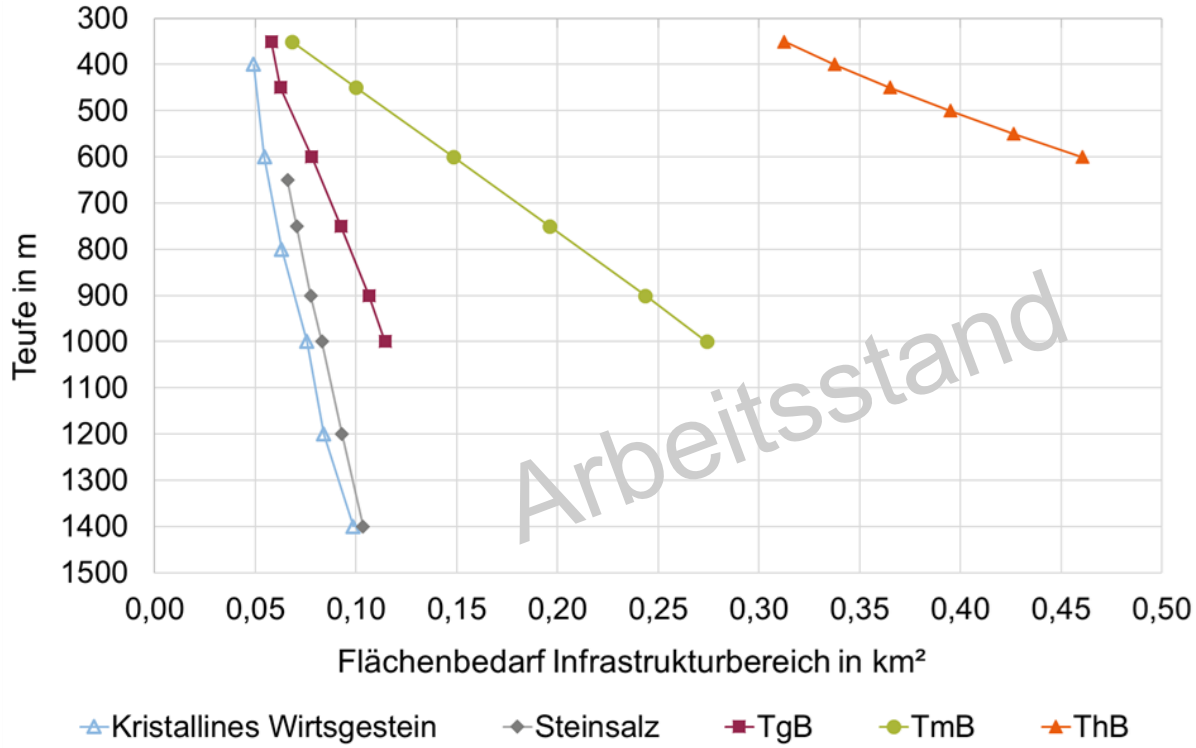
03

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

INFRASTRUKTURBEREICH

Vorgehensweise der Flächenbedarfsbestimmung

1. Ermittlung notwendiger Infrastrukturräume für Auffahrungsbetrieb und Einlagerungsbetrieb sowie deren Nutzflächenbedarf (Literaturrecherche)
2. Annahmen zur Hohlraumdimensionierung
3. Annahme zum Schachtsicherheitspfeiler
4. Gebirgsmechanische Auslegung (überschlägige Pfeilerdimensionierung) in Abhängigkeit des Wirtsgesteins und der Teufe
5. Berechnung des wirtsgesteinspezifischen und teufenabhängigen Flächenbedarfs

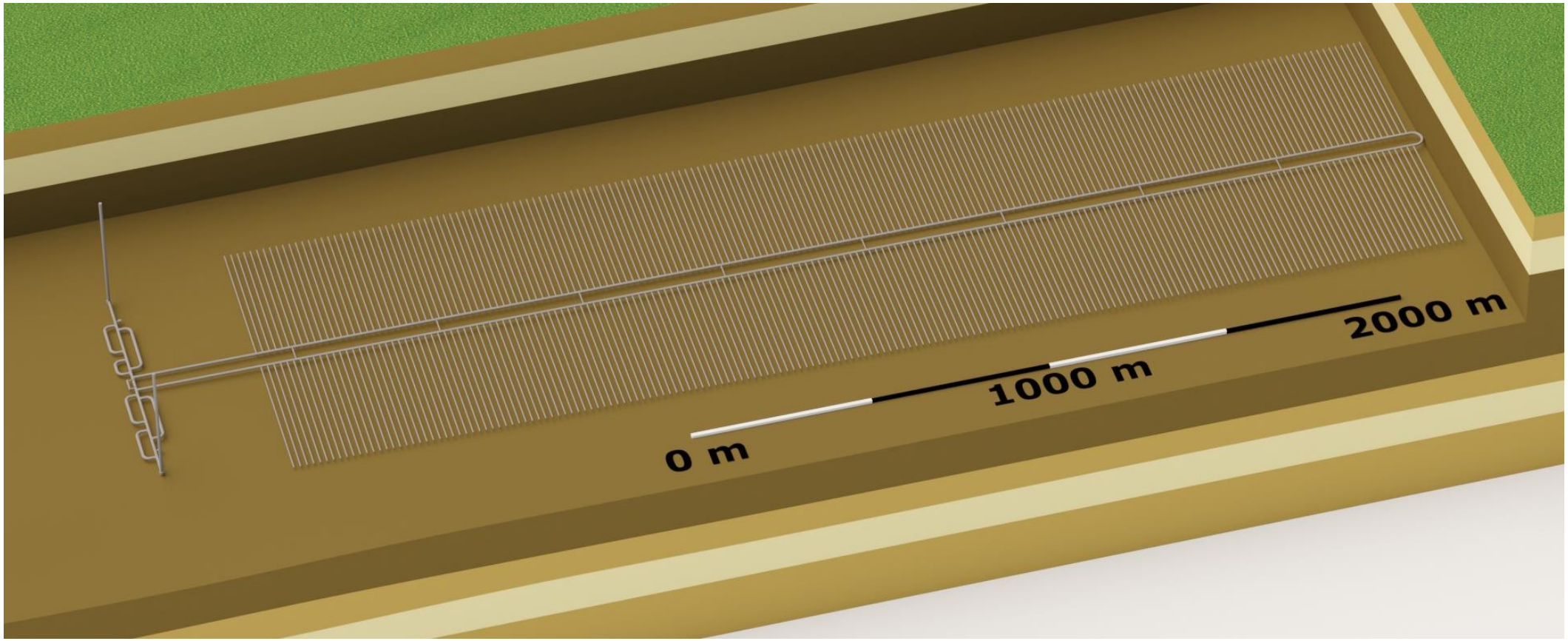


TgB: Tongestein mit geringem Beanspruchungsfaktor ~ „feste Tone“
TmB Tongestein mit mittlerem Beanspruchungsfaktor
ThB: Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor ~ „weiche Tone“

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

INFRASTRUKTURBEREICH



Beispielhafte Darstellung eines Endlagers im Tongestein mit geringem Beanspruchungsfaktor in 600 m Teufe

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT TONGESTEIN

04

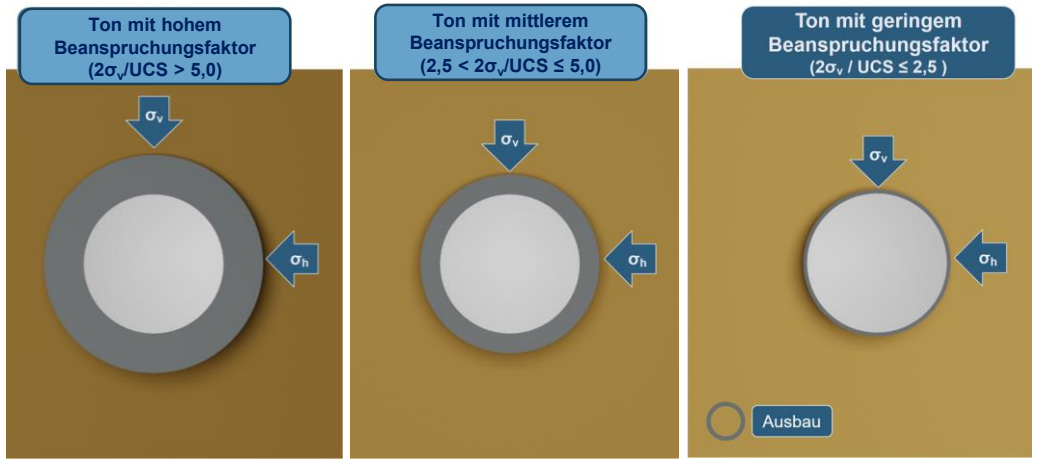
GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Klassifikation der Tongesteine

Gebietsspezifische Arbeiten im Rahmen der Endlagerauslegung sind aufgrund der heterogenen Eigenschaften der Tongesteine und einer geringen Datenlage herausfordernd

- Einteilung der Tongesteine auf Basis ihrer mechanischen Eigenschaften anhand von Referenzstandorten
  - URL HADES in Belgien (Boom Clay)
  - Konrad (Fladentonstein)
  - Nördlich Lägern (Opalinuston)



Teufe x Dichte x Erdbeschleunigung

$$\text{Beanspruchungsfaktor} = \frac{(2 \times \text{Vertikalspannung})}{\text{einaxiale Druckfestigkeit (UCS)}}$$

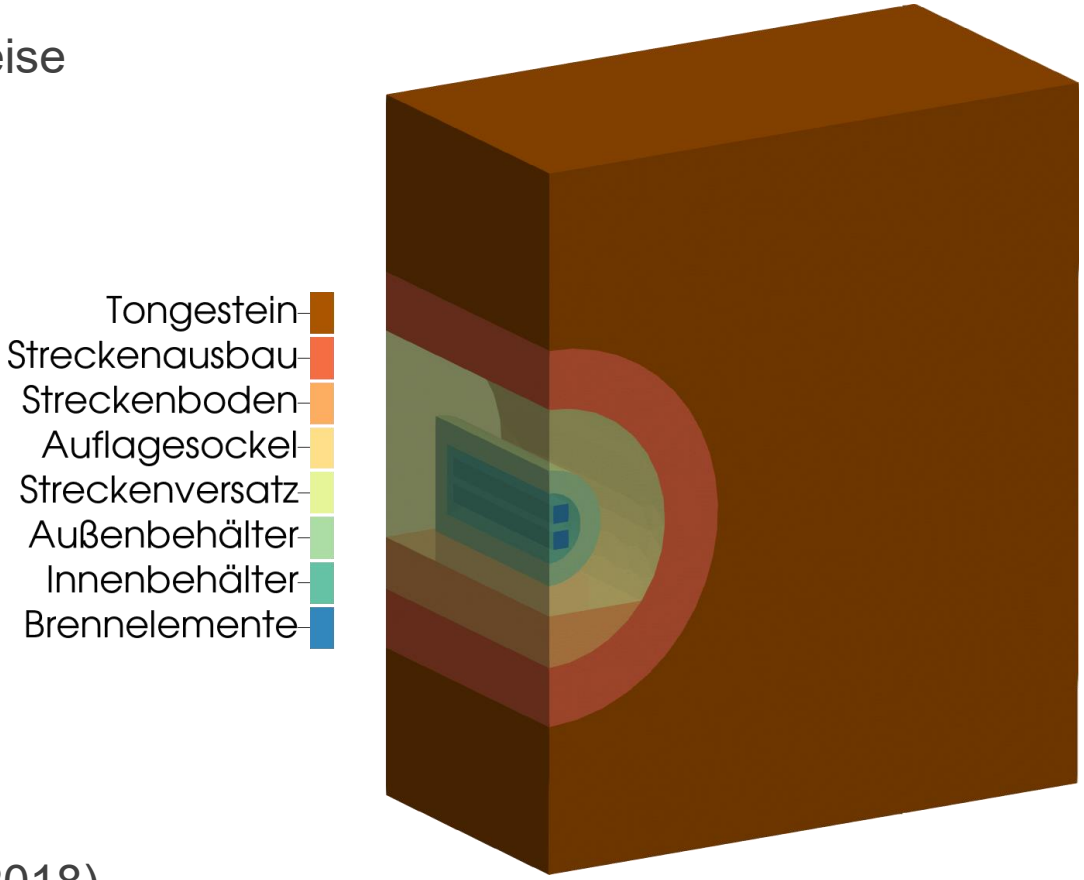
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Tongestein

- Einlagerungskonzept teilweise angelehnt an Vorgehensweise der Nagra
  - Stahlbetonboden/-ausbau bzw. offener Ausbau abhängig von der Klasse des Tongesteins
  - Streckenlagerung (lichter Durchmesser = 3,5 m)
  - Endlagerbehälter (⌀ = 1,56 m) liegt auf Sockel aus Bentonitformsteinen
- Versatz der Hohlräume mit bentonithaltigen Materialien
- Verschlüsse in Einlagerungs- und Richtstrecken mit Dichtelementen aus bentonithaltigen Materialien
- Rückholbarkeit in Anlehnung an ERNESTA (Herold et al. 2018)

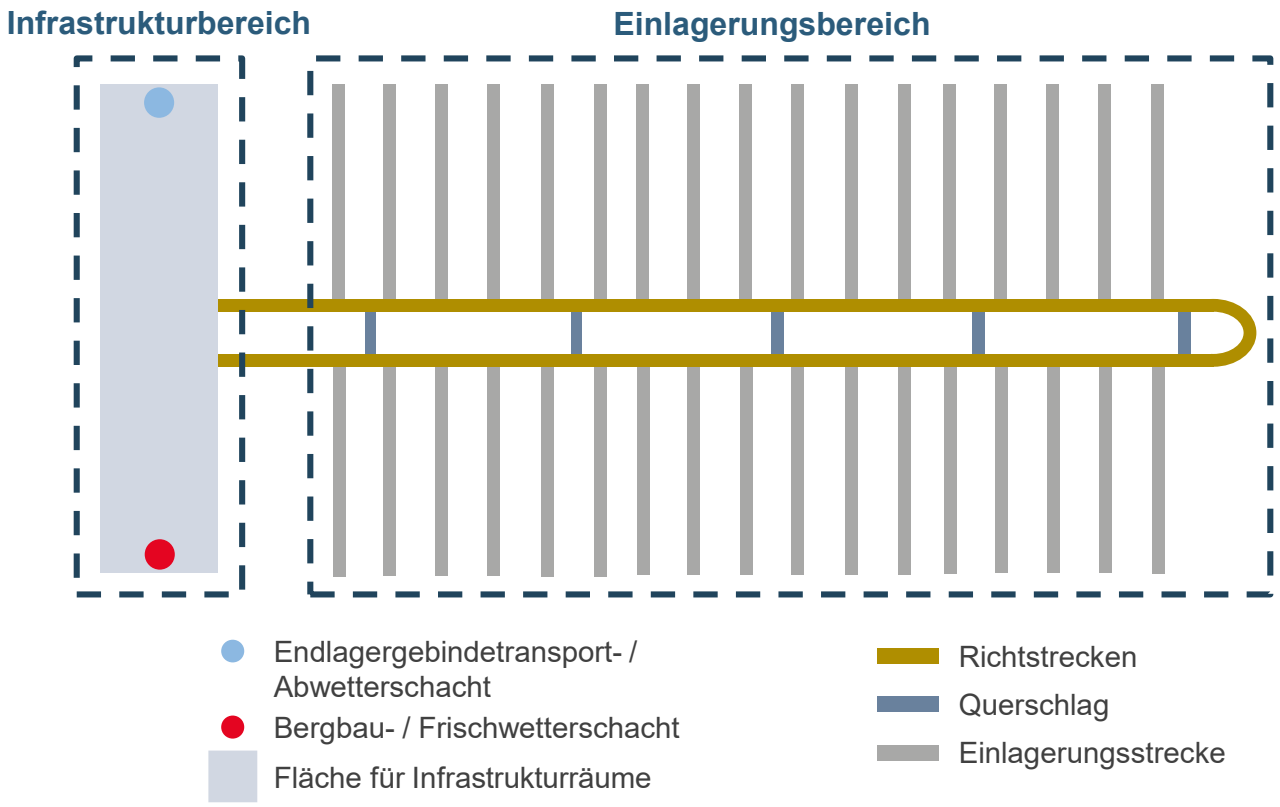


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Grundlegendes Layout des Endlagerbergwerks für Tongestein (schematisch)



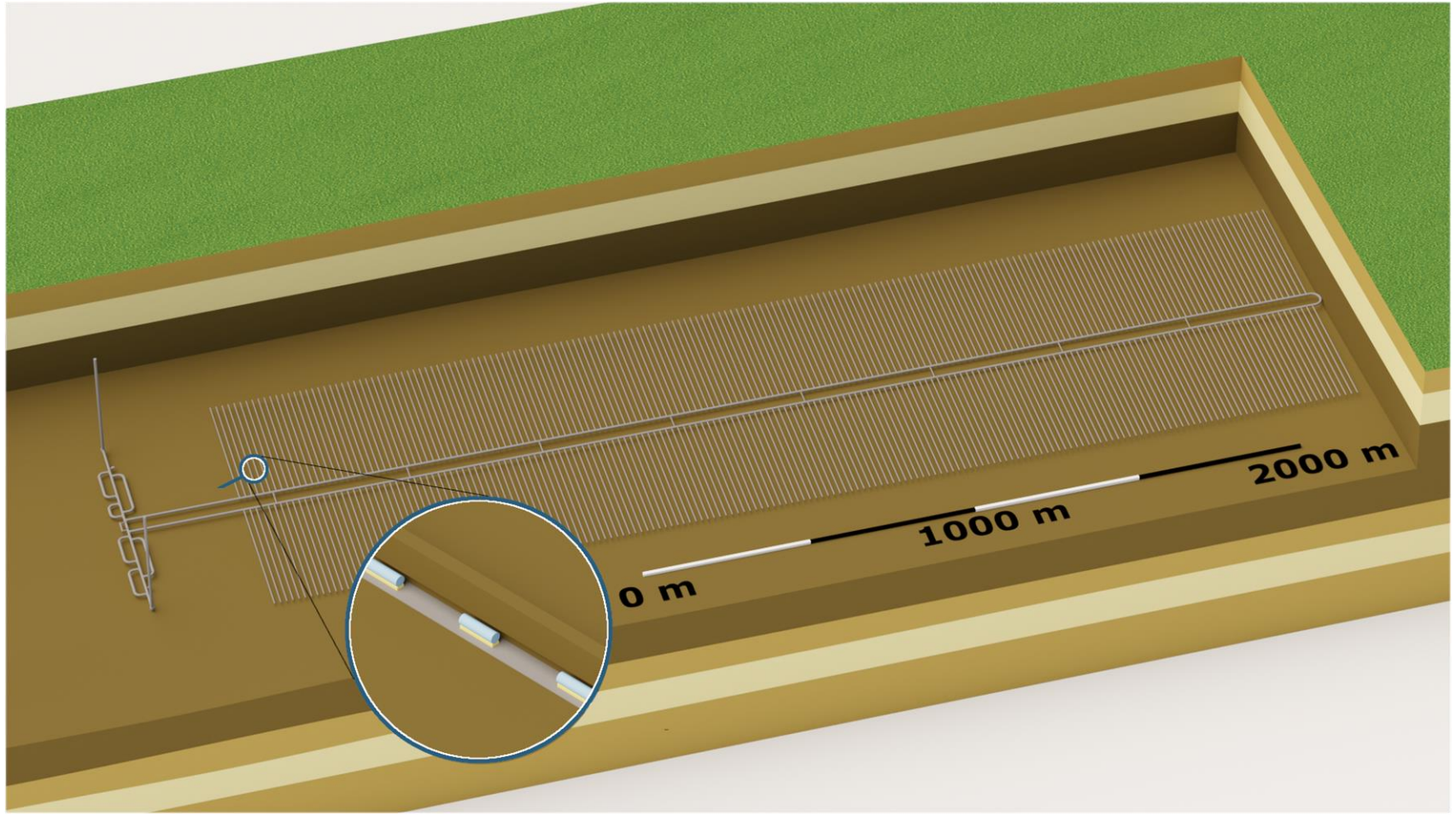
Quelle: BGE

- Layout in Anlehnung an das belgische Endlagerlayout
- Einsatz dieses Layouts für alle Tongesteinsklassen
- Berücksichtigung bei der Erstellung des Layouts:
  - Bewetterung
  - Fluchtwege
  - Strahlenschutzbereiche
  - Betriebsprozesse etc.

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Beispielhaftes Layout des Endlagerbergwerks für Tongestein



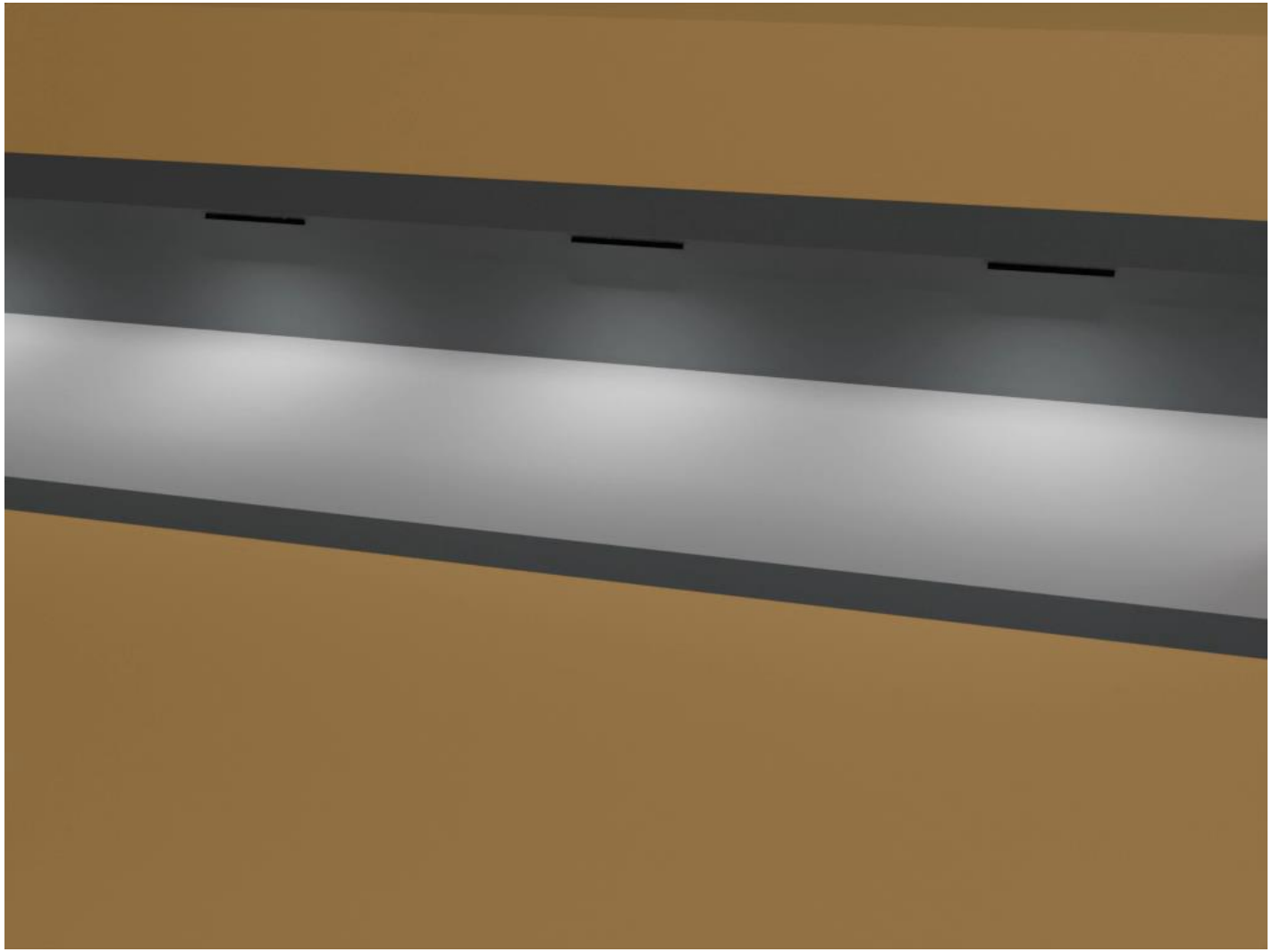
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT – TRANSPORT- UND EINLAGERUNGSVORGANG

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Animation des Einlagerungsvorgangs (Videoclip)

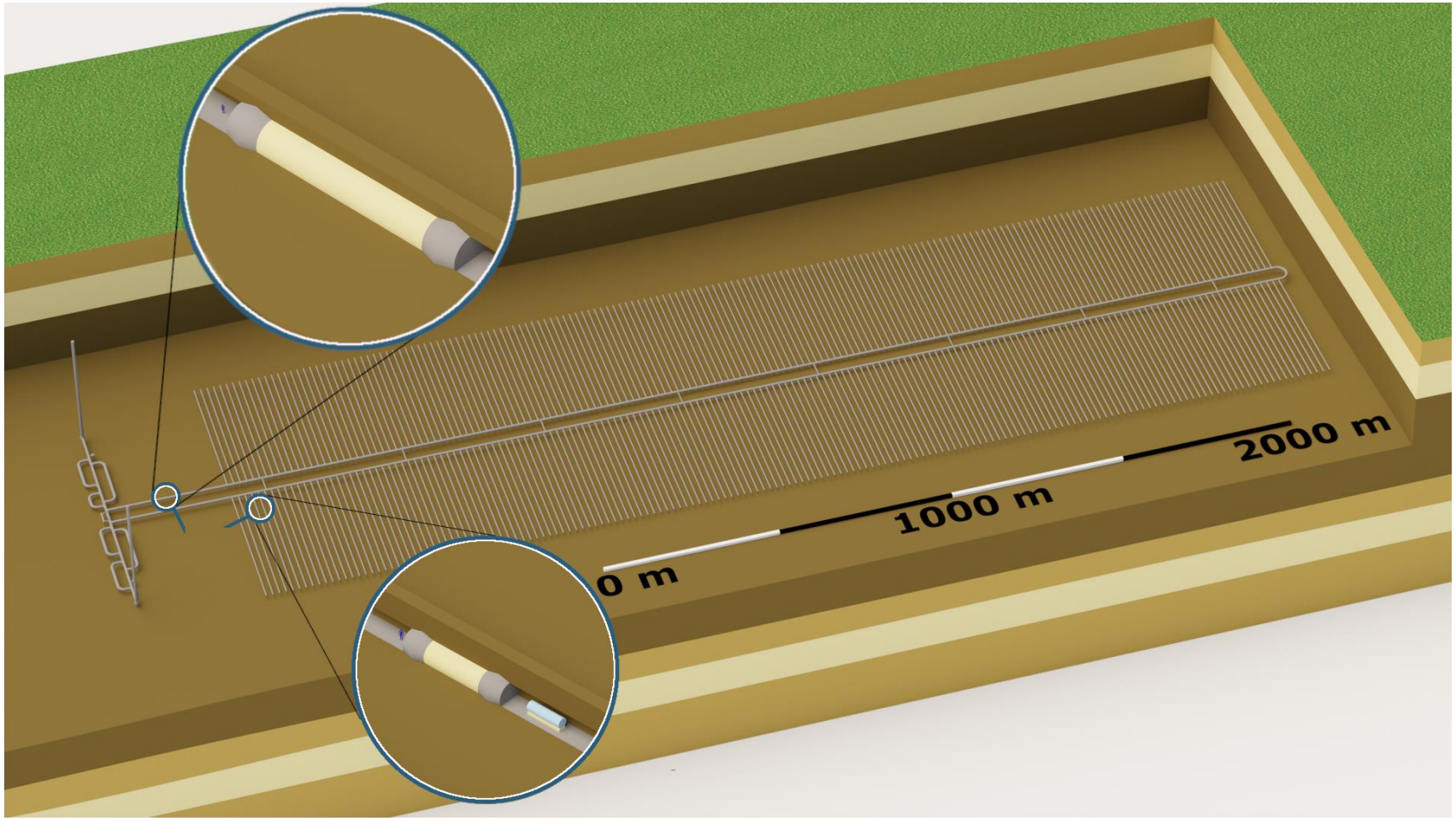


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

VERSCHLUSSBAUWERKE

Beispielhaftes Layout des Endlagerbergwerks für Tongestein



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERAUSLEGUNG

Tongestein mit hohem, mittlerem und geringem Beanspruchungsfaktor

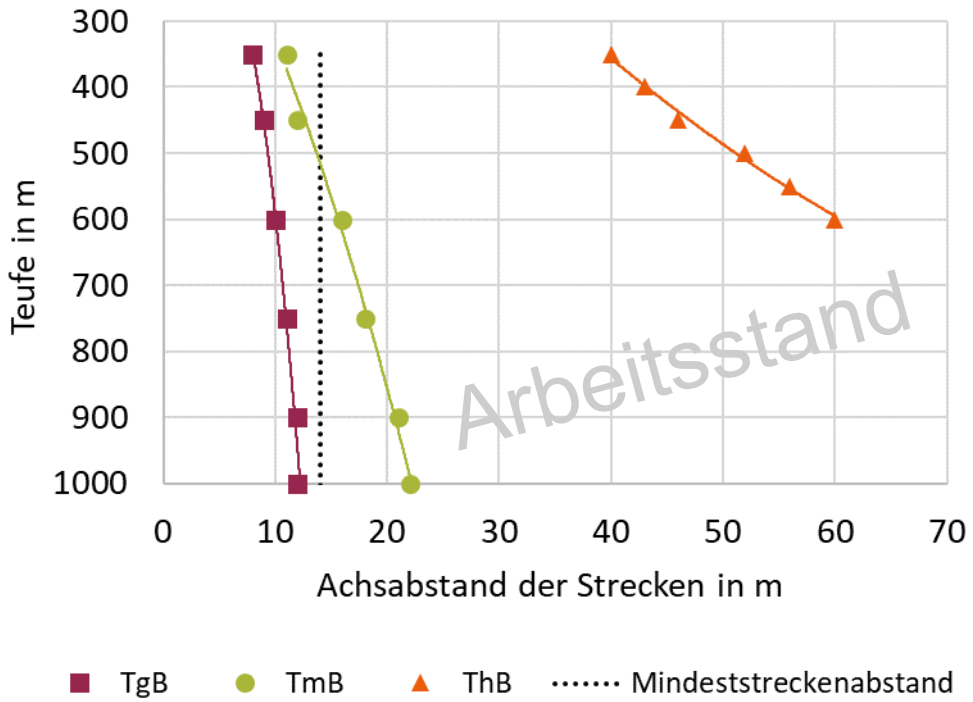
05

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GEBIRGSMECHANISCHE AUSLEGUNG

Tongestein

- Große Bandbreite an gebirgsmechanischen Verhaltensweisen
- Betrachtung von Teufen zwischen 350 m und 1000 m
- Durchführung numerischer Berechnungen für 3 generische Datensätze
  1. Auslegung der notwendigen Pfeilerbreite (mittlerer Sicherheitsfaktor von 2 bzgl. Bruch)
  2. Prüfung der Realisierbarkeit durch Bestimmung des Ausbaustützdrucks



Minimale Achsabstände der Einlagerungsstrecken für einen Seitendruckbeiwert von $(\sigma_H / \sigma_v) = k_0 = 0{,}85$

(ThB / TmB / TgB: Tongesteine mit hohem / mittlerem / geringem Beanspruchungsfaktor)

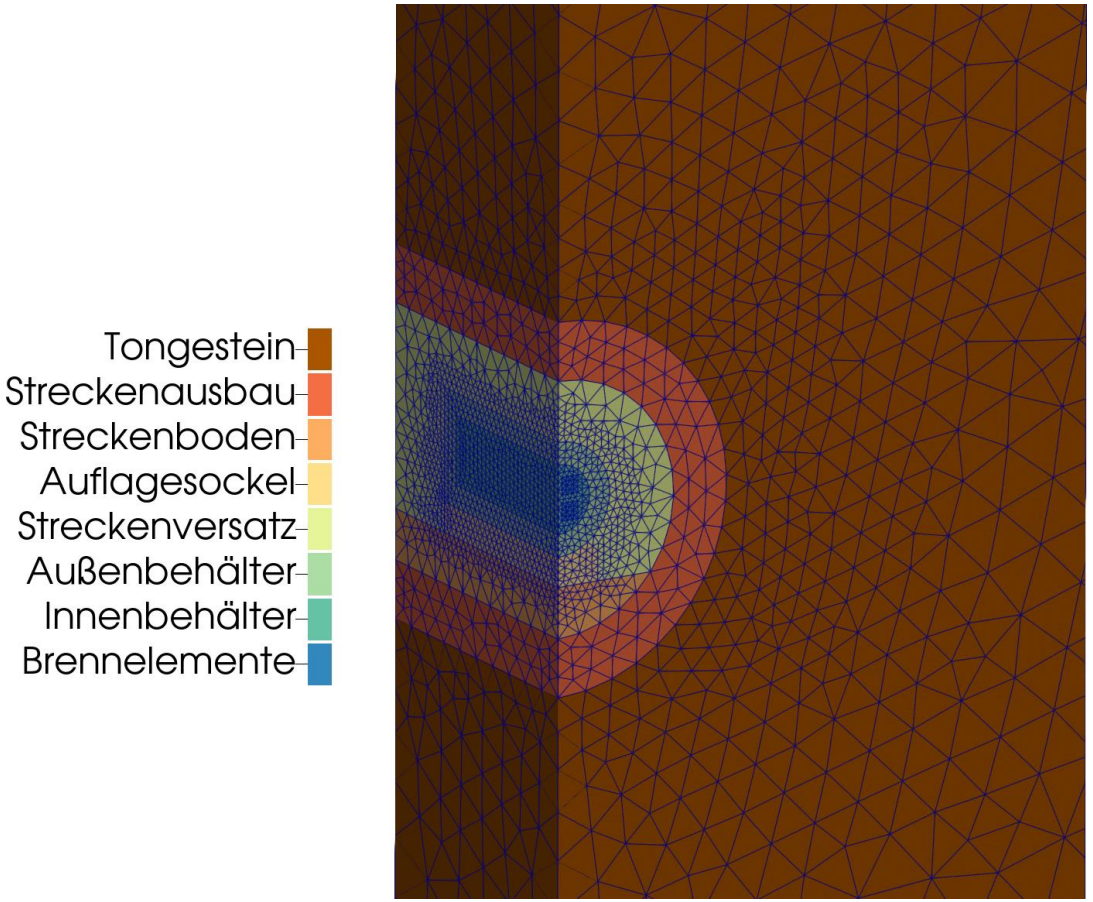
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

NUMERISCHE THERMISCHE MODELLIERUNG

Tongestein (1/2)

- Numerische Simulation (FEM) (3D-Viertelmodelle)
- Nutzung der Open Source Software „OpenGeoSys“
- Optimierung der Behälterbeladung, um Auslegungstemperatur an der Behälteraußenwand einzuhalten
- Ggf. Optimierung der Strecken- und Behälterabstände
  - Berücksichtigung der Mindeststreckenabstände der gebirgsmechanischen Modellierungen
- Prognose des Gesamtendlagerflächenbedarfs auf Basis der ermittelten Behälterbeladungen sowie geometrischen Parametern

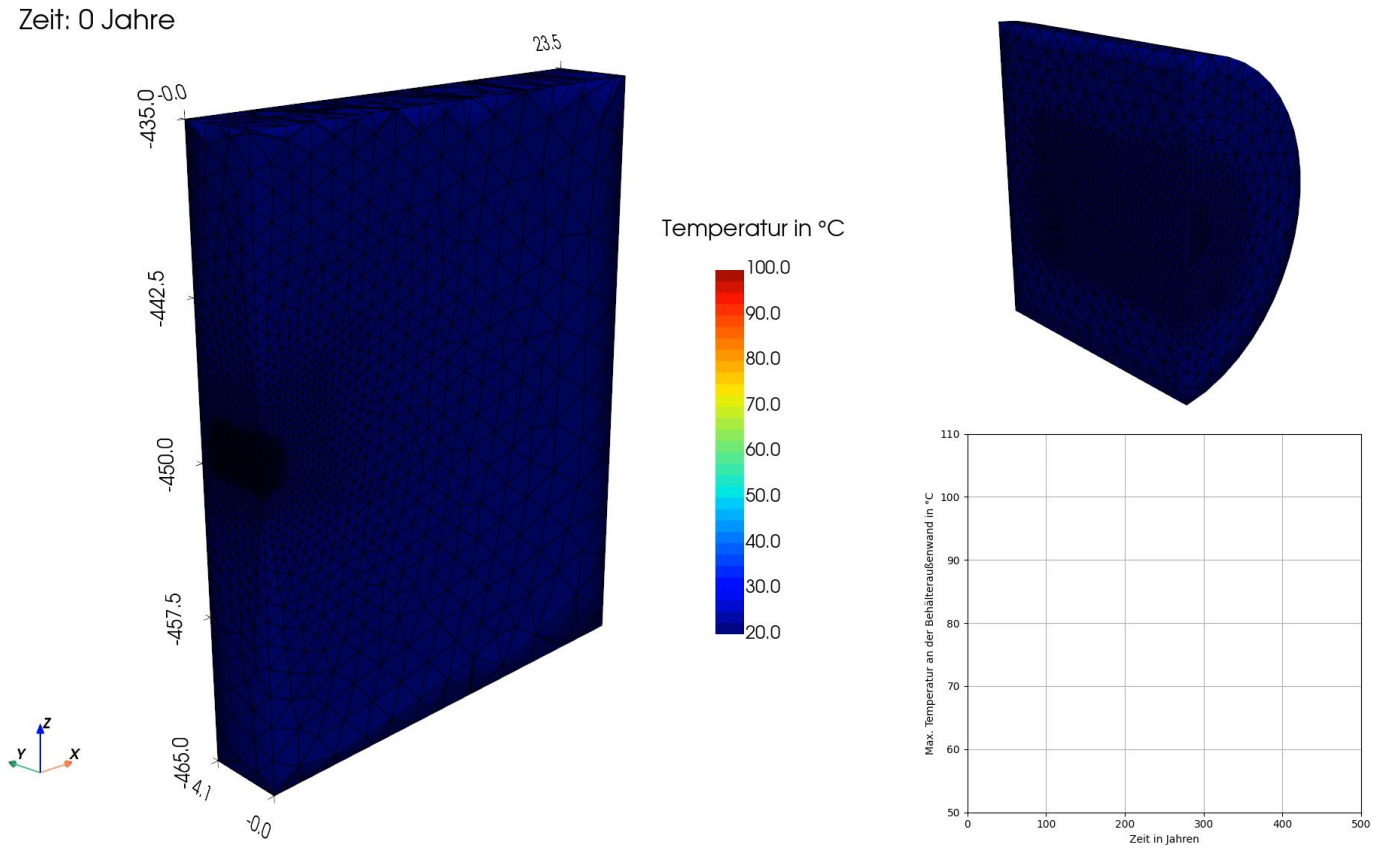


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

NUMERISCHE THERMISCHE MODELLIERUNG

Tongestein (2/2)



SIMULATIONSSETUP

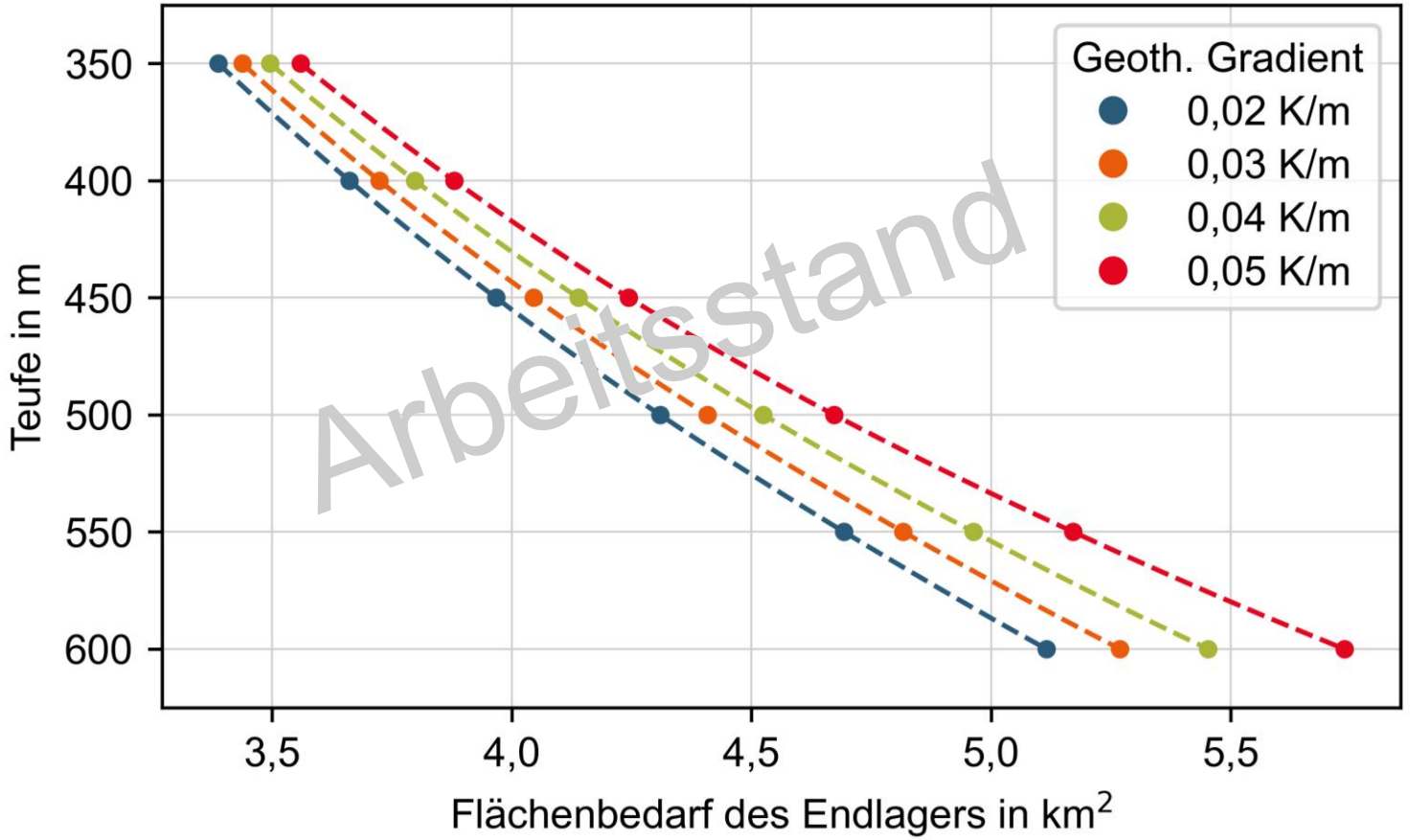
- Endlagerteufe: 450 m
- Geotherm. Gradient: 0,03 °C/m
- Auslegungstemperatur: 100 °C
- Inventar: DWR Cluster 06
- Simulationszeit: 500 Jahre
- Wirtsgestein: Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF ALS FUNKTION VON TEUFE UND GEBIRGSTEMPERATUR

Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor



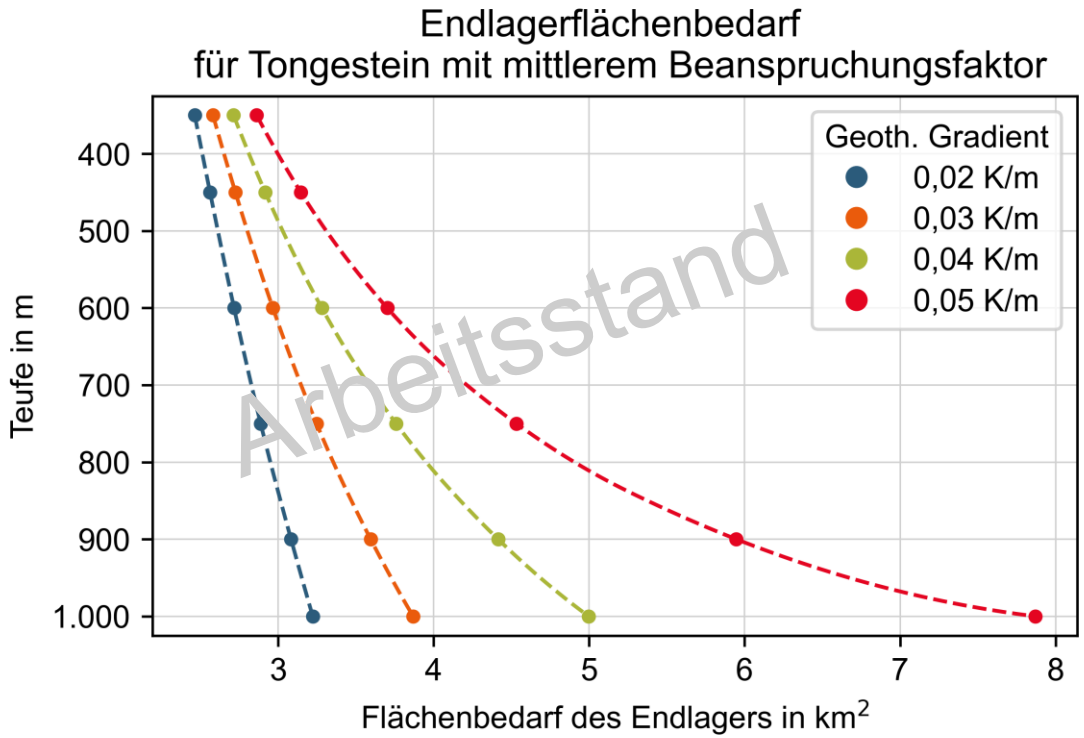
Quelle: BGE

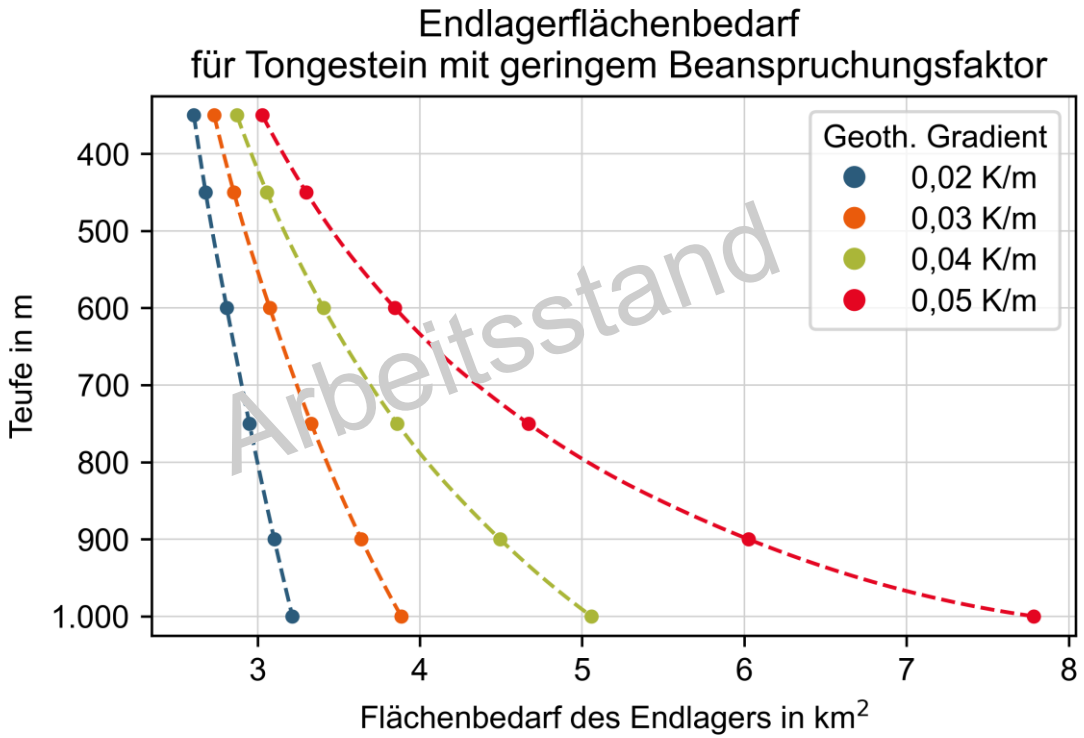
GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF ALS FUNKTION VON TEUFE UND GEBIRGSTEMPERATUR

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Tongestein mit mittlerem und geringem Beanspruchungsfaktor





- Endlagerflächenbedarfe werden von Thermik dominiert und sind deswegen sehr ähnlich
  - ➢ Zusammenfassung der Kurven zu einem Endlagerflächenbedarf

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT/ –AUSLEGUNG FÜR KRISTALLINES WIRTSGESTEIN

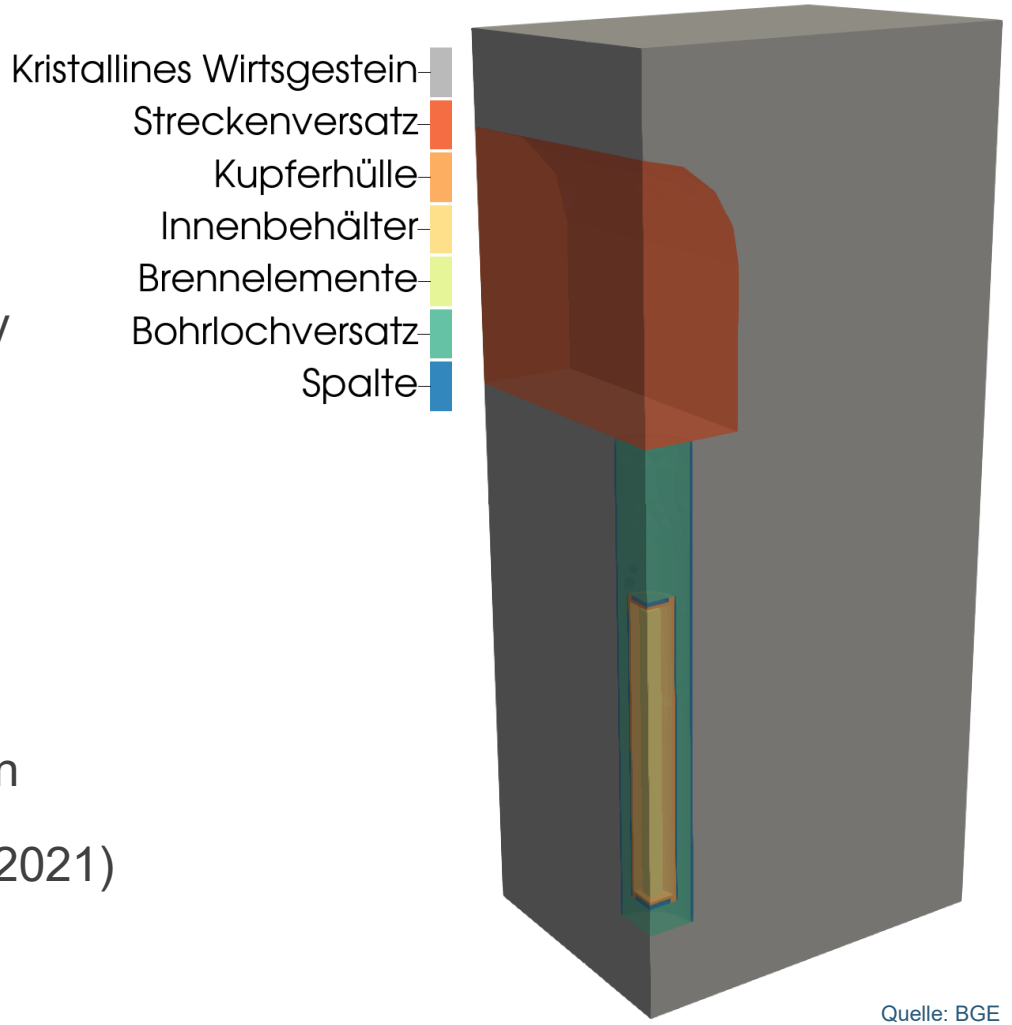
06

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Kristallines Wirtsgestein

- Gleiches Einlagerungskonzept und Endlagerlayout für Endlagersystem Typ 1 und Typ 2
- Endlagerkonzept basiert auf Vorgehensweise der Posiva Oy
  - Vertikale Bohrlochlagerung
  - Endlagerbehälter von Bentonitformsteinen umgeben
  - Verfüllung der Bohrlochüberfahrungsstrecken mit einem Gemisch aus Bentonit und Ausbruchsmaterial
  - Verschluss der Strecken mit einem Widerlager aus Beton
  - Rückholbarkeit in Anlehnung an KOREKT (Herold et al. 2021)

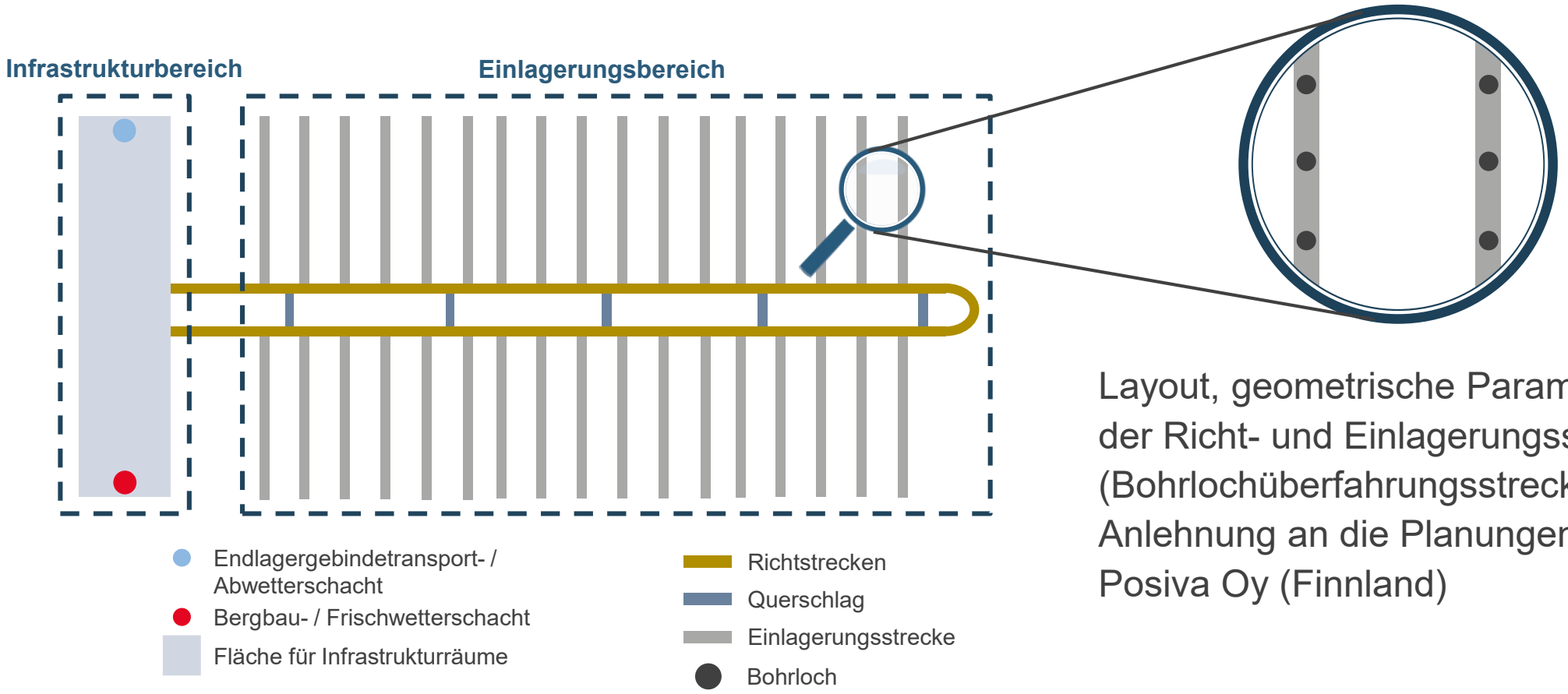


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Grundlegendes Layout des Endlagerbergwerks für kristallines Wirtsgestein (schematisch)



Layout, geometrische Parameter der Richt- und Einlagerungsstrecke (Bohrlochüberfahrungsstrecke) in Anlehnung an die Planungen von Posiva Oy (Finnland)

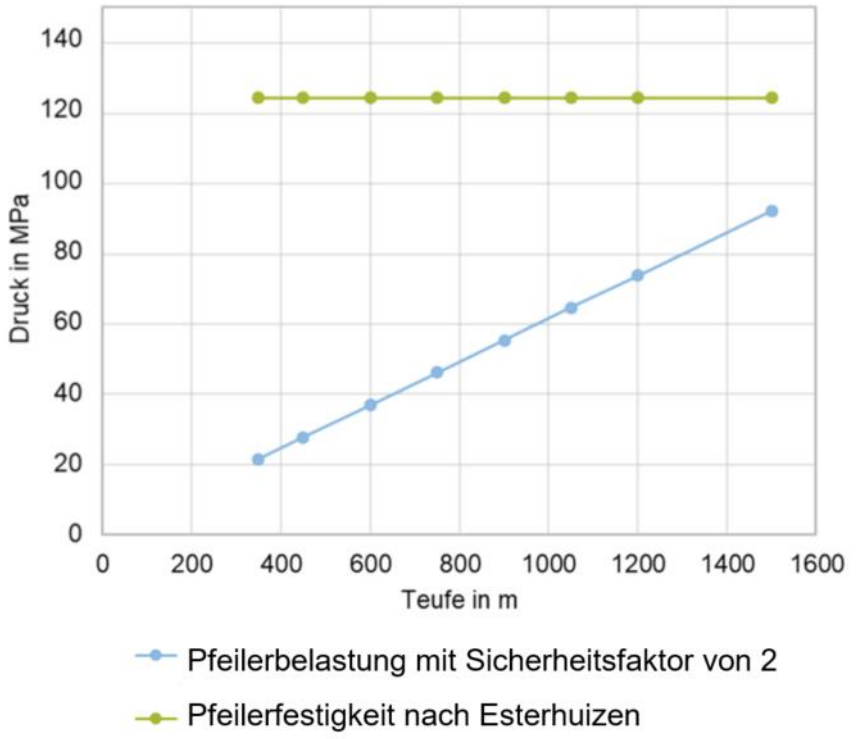
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GEBIRGSMECHANISCHE AUSLEGUNG

Kristallines Wirtsgestein

- Große bergbauliche Erfahrung im kristallinen Wirtsgestein
- Analytische Berechnung der notwendigen Pfeilerbreiten unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von 2
- Festigkeit der Pfeiler entspricht für jede betrachtete Teufe mind. dem doppelten ihrer Belastung
  - Gleiche Pfeilerbreiten für alle Teufen
    - 21,5 m zwischen Einlagerungsstrecken
    - 30 m zwischen Richtstrecken
- Sicherung der Kontur kann mit typischen Ausbaumitteln wie Ankern, Maschendraht, Spritzbeton oder Ortbeton erfolgen



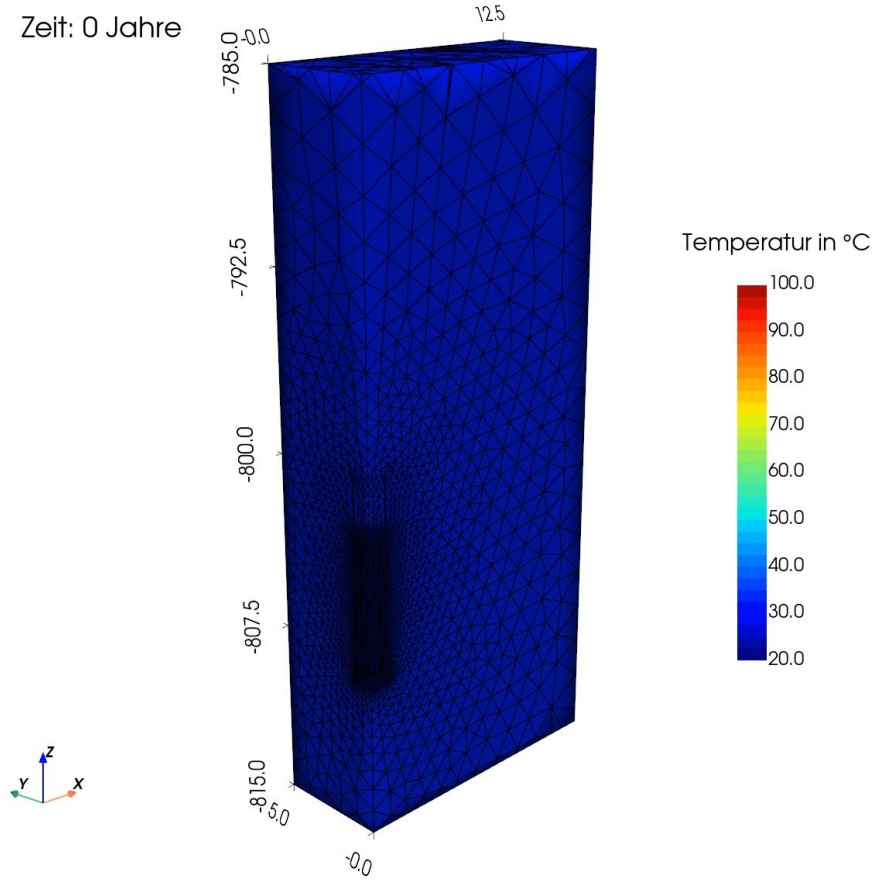
Entwicklung der Pfeilerbelastung und der -festigkeit von 21,5 m breiten Pfeilern zwischen Einlagerungsstrecken, wobei die Pfeilerbelastung mit dem Sicherheitsfaktor 2 multipliziert wurde

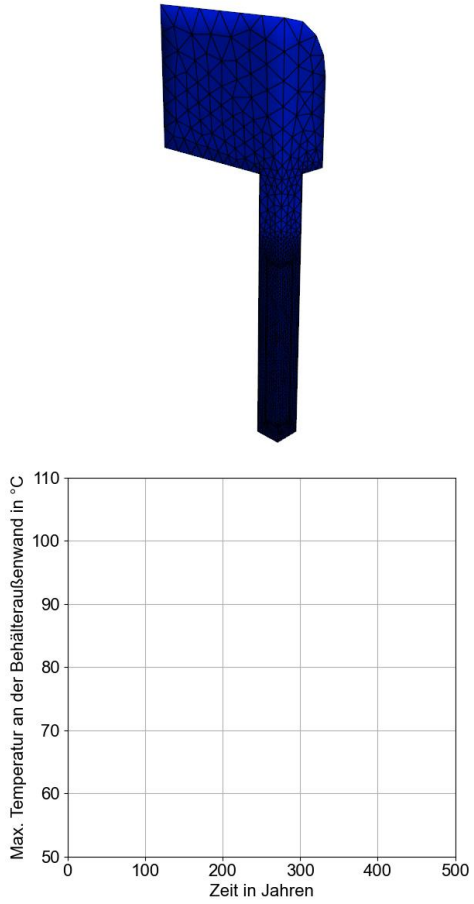
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

NUMERISCHE THERMISCHE MODELLIERUNG

Kristallines Wirtsgestein





SIMULATIONSSETUP

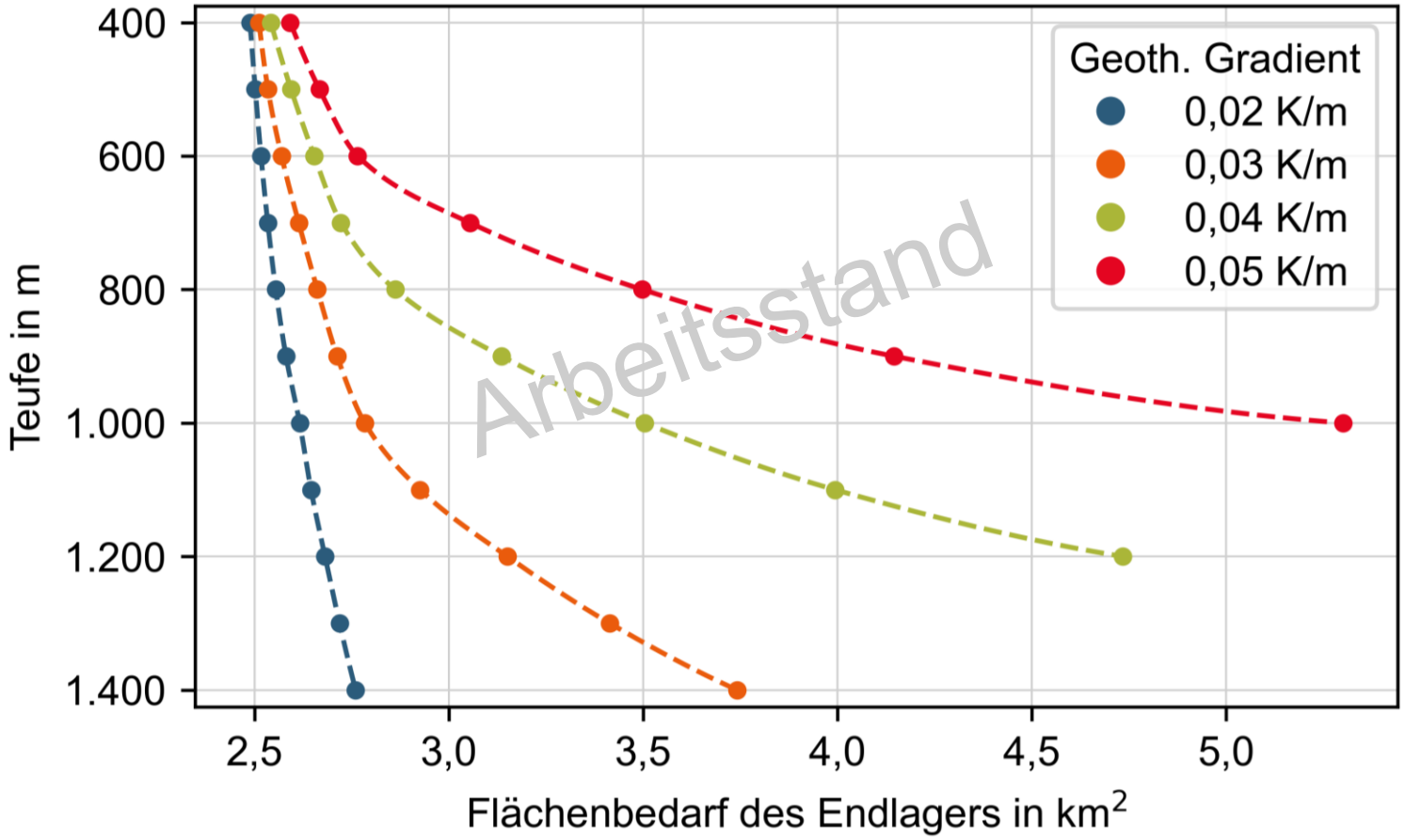
- Endlagerteufe: 800 m
- Geotherm. Gradient: 0,03 °C/m
- Auslegungstemperatur: 100 °C
- Inventar: DWR Cluster 06
- Simulationszeit: 500 Jahre
- Wirtsgestein: Kristallines Wirtsgestein

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF ALS FUNKTION VON TEUFE UND GEBIRGSTEMPERATUR

Kristallines Wirtsgestein



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT/ -AUSLEGUNG FÜR STEINSALZ

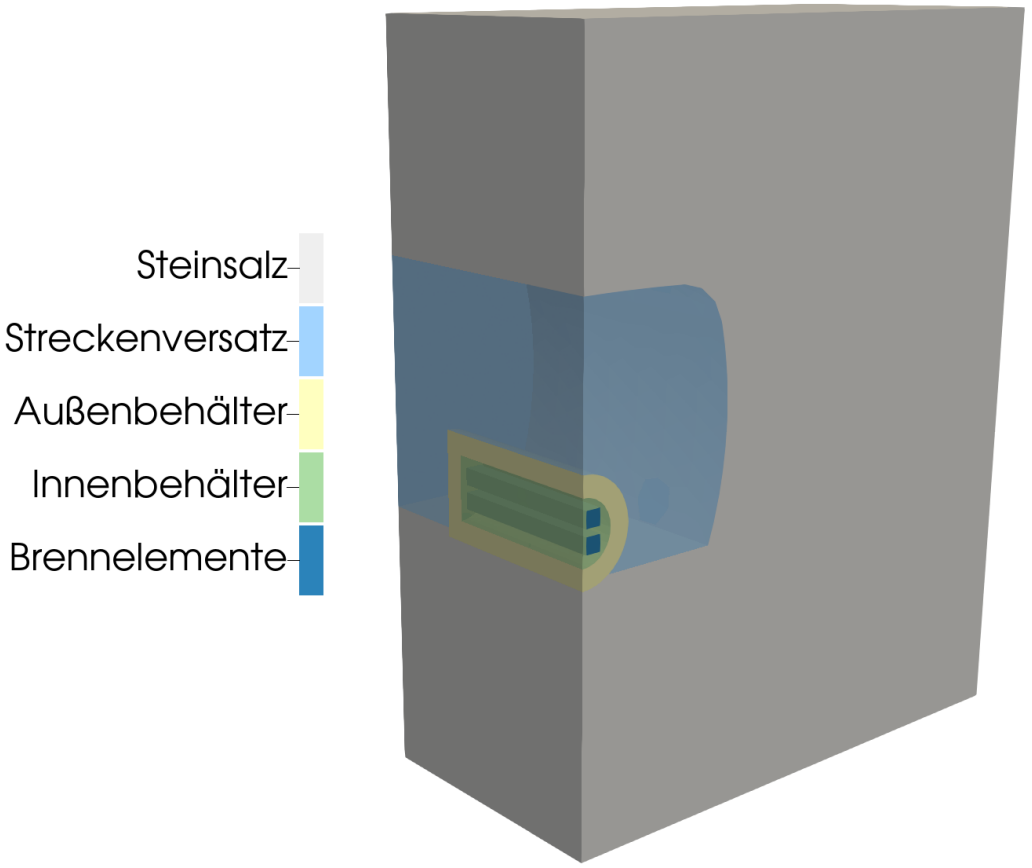
07

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Steinsalz

- Verwendung des gleichen Einlagerungskonzeptes für Steinsalz in stratiformer und steiler Lagerung
- Endlagerkonzept
  - Streckenlagerung
  - Endlagerbehälter liegt in einer Senke im Streckenboden des Steinsalzes
  - Versatzmaterial aus Salzgrus
  - Rückholbarkeit in Anlehnung an ERNESTA (Herold et al. 2018)

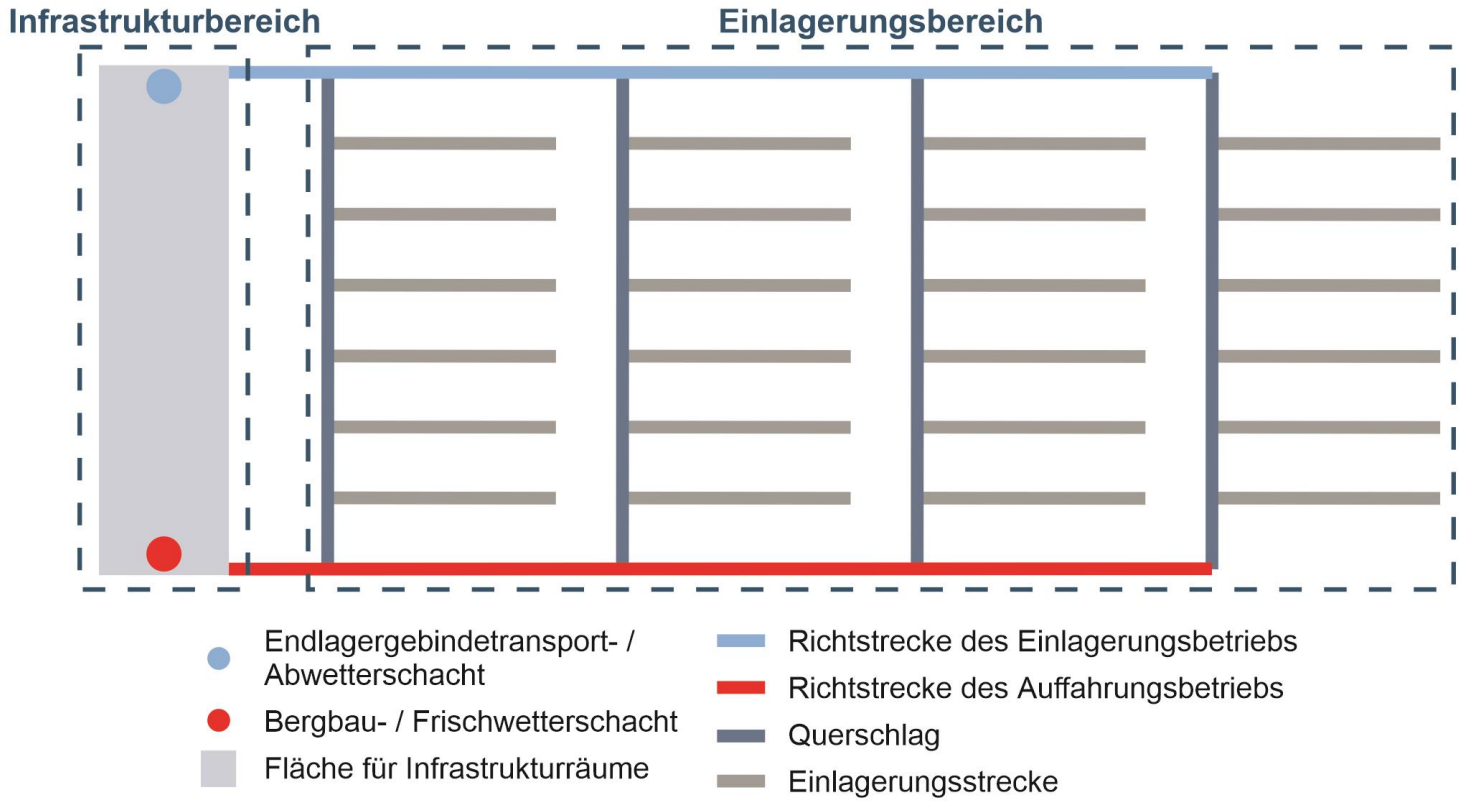


Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERKONZEPT

Grundlegendes Layout des Endlagerbergwerks für Steinsalz (schematisch)



- Layout mit hoher Flexibilität
- Verwendung des Layouts sowohl für Steinsalz in stratiformer als auch in steiler Lagerung
- Berücksichtigung bei der Erstellung des Layouts:
  - Bewetterung
  - Fluchtwege
  - Strahlenschutzbereiche
  - Betriebsprozesse etc.

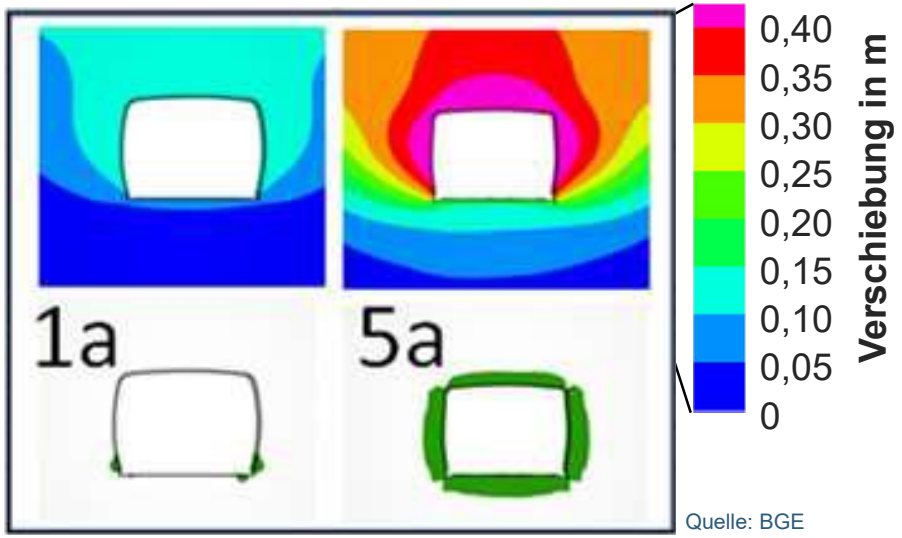
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GEBIRGSMECHANISCHE AUSLEGUNG

Steinsalz

- Steinsalz hat sehr günstige gebirgsmechanische Eigenschaften (Versagen ist duktil)
  - Geringe Sicherung der Grubenräume genügt meist
  - Regelmäßige Wartung der Grubenräume nötig, z. B. Sohle nachfräsen, Kontur von Abschalungen befreien, Sicherung (z. B. Anker und Maschendraht) erneuern
- Berechnungsschritte
  1. Bestimmung von standsicheren Pfeilerbreiten zunächst mit analytisch-empirischem Verfahren
  2. Anschließende numerische Prüfung der Gebrauchstauglichkeit (akzeptable Verformung der Kontur gegenüber der Standzeit)



Quelle: BGE

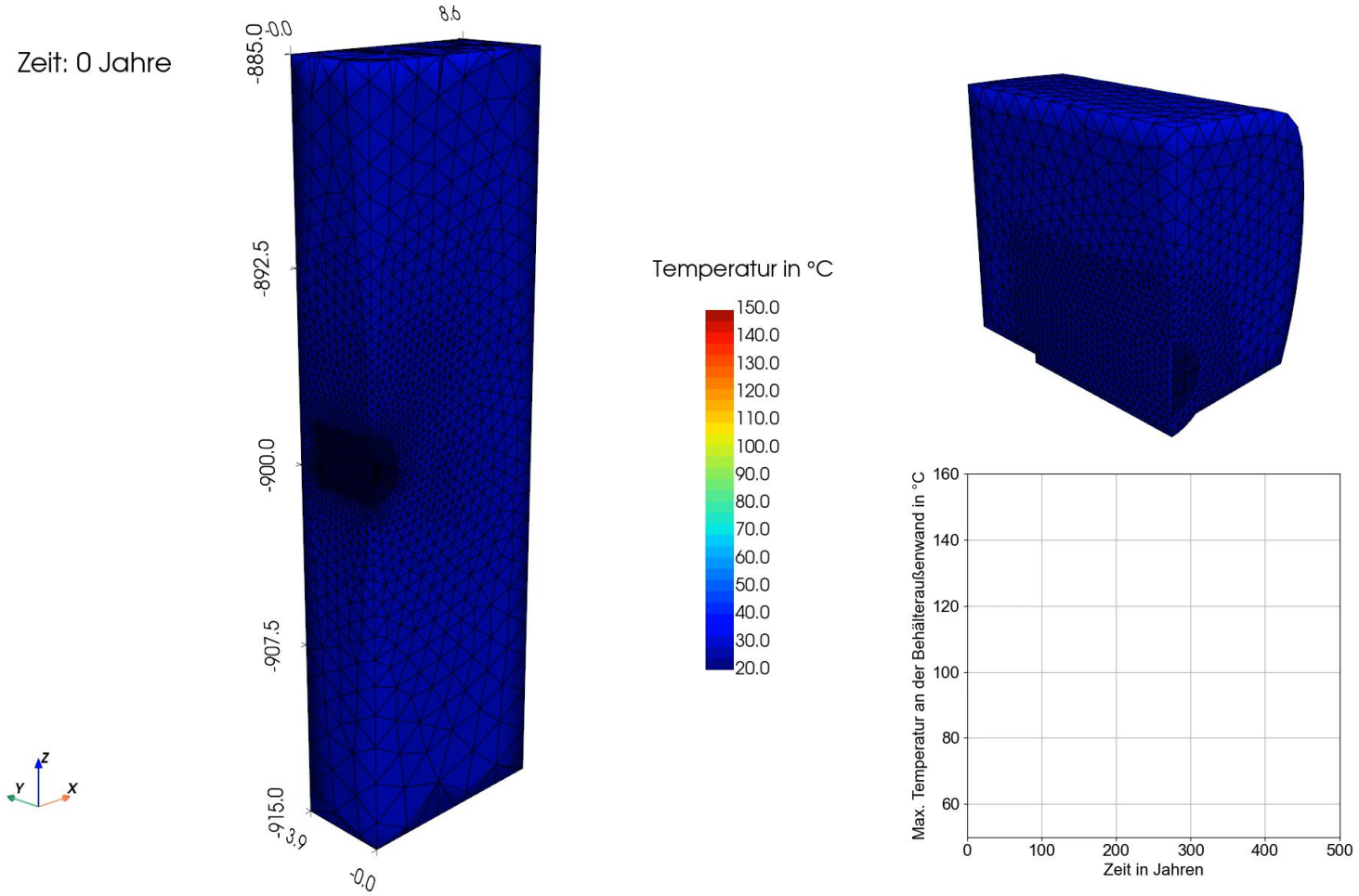
*Verschiebung im Gebirge (oben) und geschädigte Bereiche der Kontur (unten) für eine exemplarische **Einlagerungsstrecke** in 900 m Teufe nach:*

- *einem Jahr (1a): geringe Verschiebungen und minimale geschädigte Bereiche – gut nutzbar*
- *fünf Jahren (5a): starke Verschiebungen und deutliche Schädigung der gesamten Kontur – nicht gebrauchstauglich*

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

NUMERISCHE THERMISCHE MODELLIERUNG

Steinsalz



SIMULATIONSSETUP

- Endlagerteufe: 900 m
- Geotherm. Gradient: 0,03 °C/m
- Auslegungstemperatur: 150 °C
- Inventar: SWR Cluster 02
- Simulationszeit: 500 Jahre
- Wirtsgestein: Steinsalz

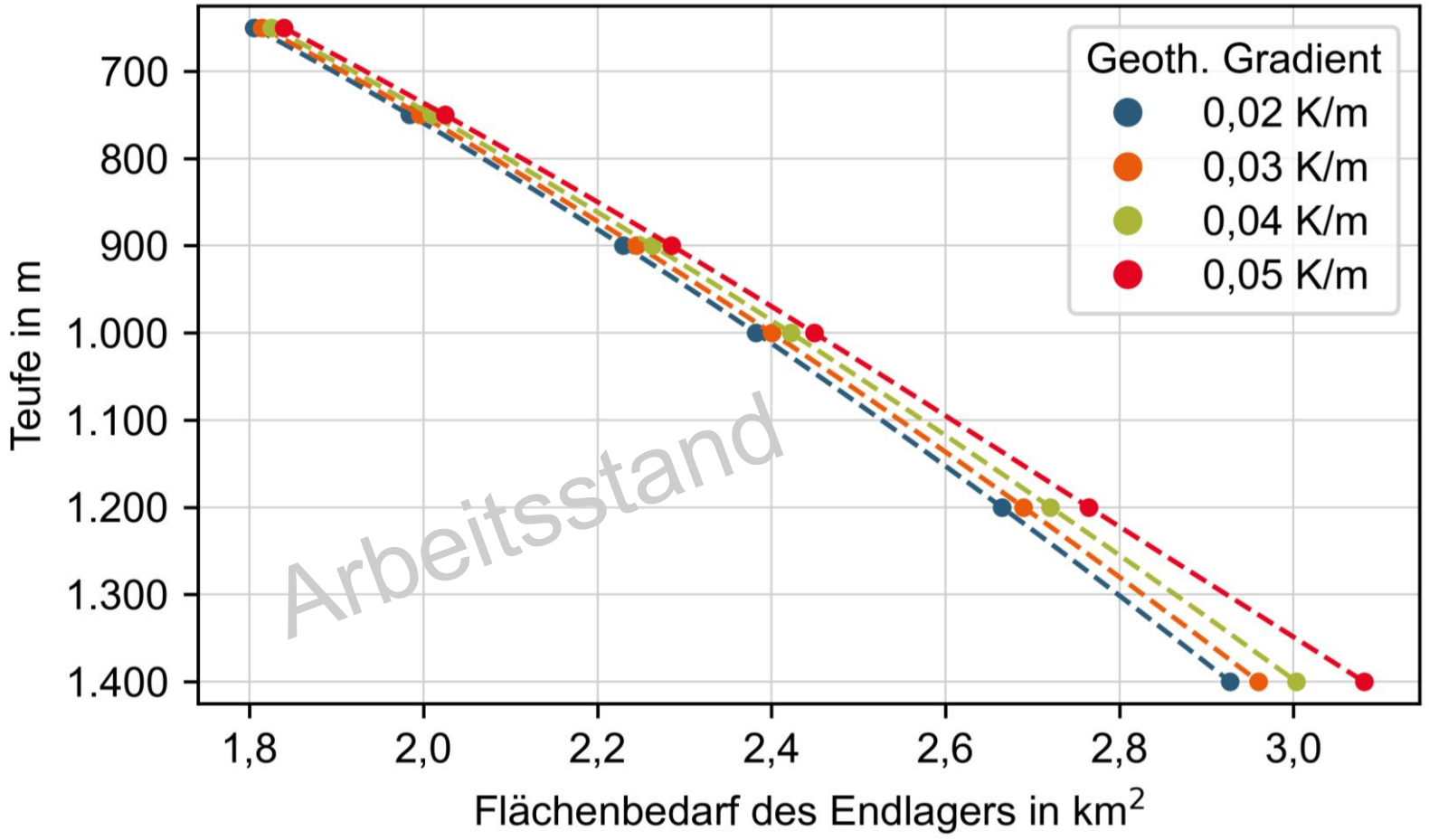
Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF ALS FUNKTION VON TEUFE UND GEBIRGSTEMPERATUR

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Steinsalz



Aktualisierte Abbildung, gegenüber der am 23.11.2024 gezeigten

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF EINES ZUSÄTZLICHEN SMA-ENDLAGERS

08

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Gesetzlicher Auftrag für rvSU

- Nach § 27 Abs. 5 StandAG und § 7 Abs. 5 EndlSiUntV ist innerhalb der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu beurteilen, inwiefern in einem Gebiet zu erwarten ist, dass eine zusätzliche Endlagerung größerer Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle (SMA) möglich ist
- Im Rahmen der rvSU ist als Indikator für die Beurteilung das vorhandene Wirtsgesteinsvolumen heranzuziehen (§ 7 Abs. 6 Nr. 6 EndlSiUntV)
- Indikator für ein ausreichendes Volumen eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) ist dessen flächenhafte Ausdehnung (vgl. Anlage 2 zu § 24 Abs. 3 StandAG)

  → Ermittlung des Flächenbedarfs für ein zusätzliches SMA-Endlager erforderlich

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Vorgehensweise

1. Festlegung der grundsätzlichen Endlagerlayouts
2. Festlegung von zu berücksichtigendem Abfallmengengerüst und geeigneten Behältern
3. Festlegung der Dimensionen der Einlagerungsstrecken
4. Dimensionierung der Pfeiler zwischen den Einlagerungsstrecken in Abhängigkeit des Wirtsgesteins und der Teufe (gebirgsmechanische Auslegung; empirisch und analytisch)
5. Berechnung des wirtsgesteinspezifischen und teufenabhängigen Flächenbedarfs aus dem Infrastrukturbereich, dem Einlagerungsbereich und dem Abstand zwischen diesen Bereichen

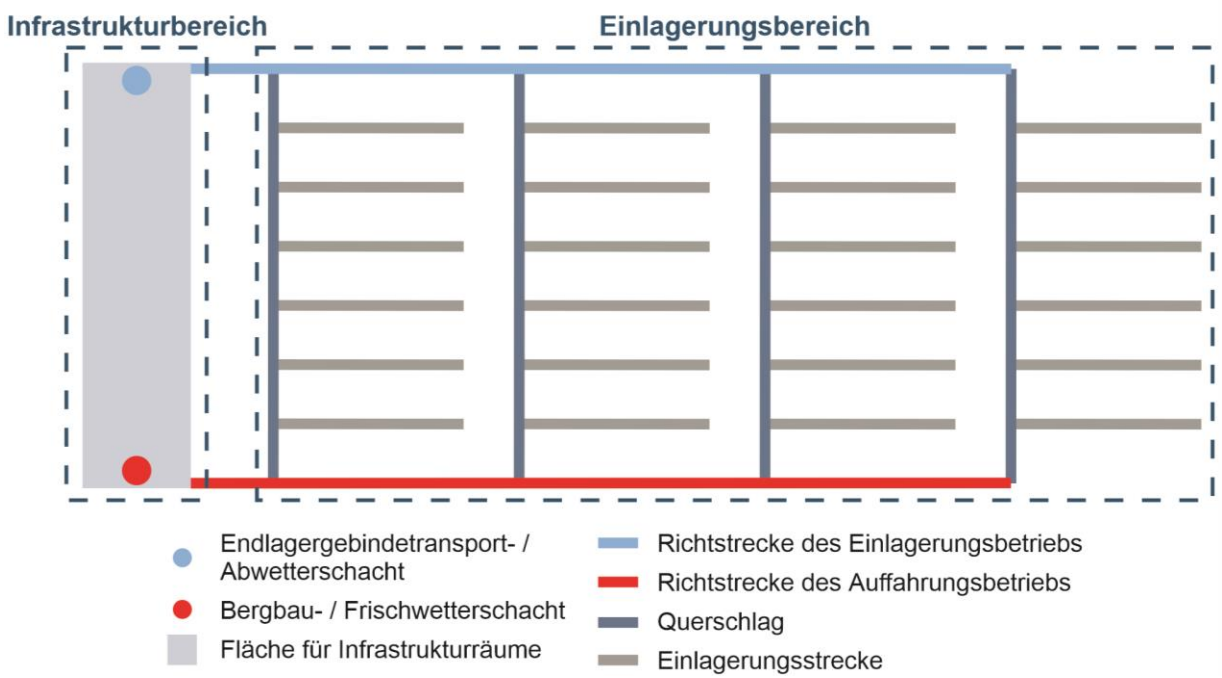
GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

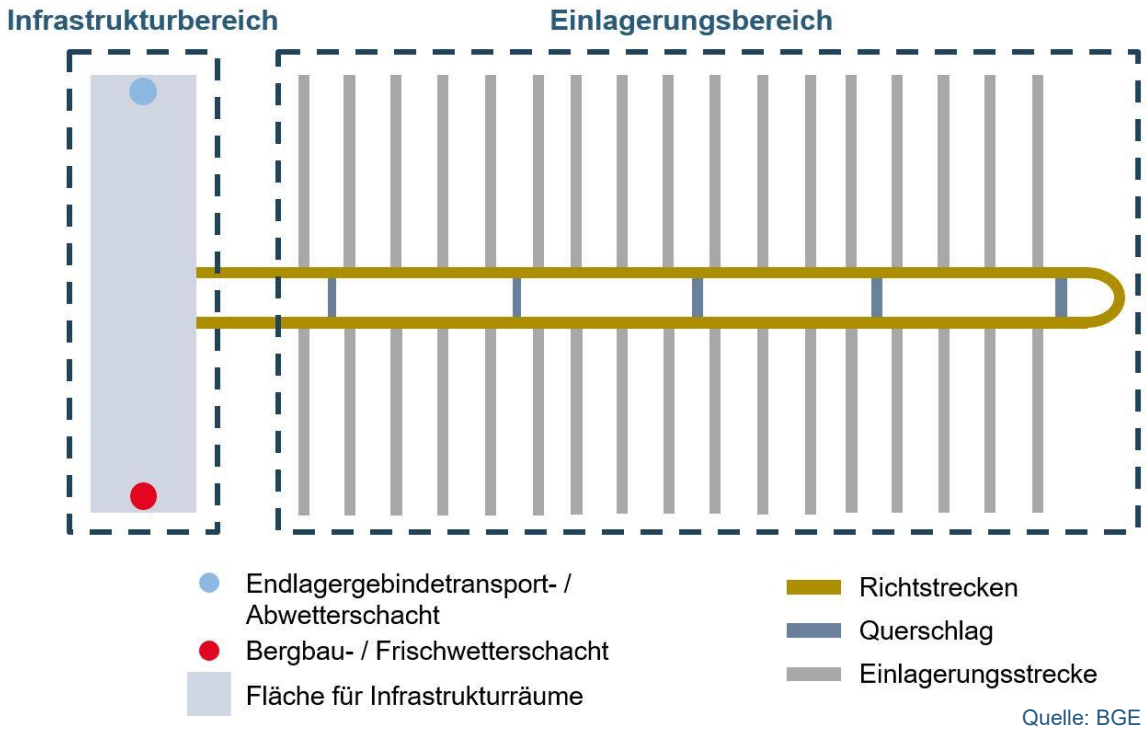
Schematische Endlagerlayouts für SMA

Gewählte Endlagerlayouts für Steinsalz sowie kristallines Wirtsgestein und Tongestein identisch zur Auslegung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle (HAA)

Steinsalz



kristallines Wirtsgestein und Tongestein



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Abfallmengengerüst SMA und Behälter

- Berücksichtigtes Abfallmengengerüst aus: Verzeichnis radioaktiver Abfälle (BMUV 2023) und Rückholplan Schachtanlage Asse II (BGE 2020)
- Annahme: Verwendung Konrad Container

	Abfälle Uran-anreicherung	Abfälle aus der Asse II	Sonstige Abfälle	Gesamt
Abfallgebinde-volumen in m³	ca. 100 000 (BMUV 2023)	ca. 200 000 (BGE 2020)	ca. 60 000 (BMUV 2023)	ca. 360 000
Konrad Container Typ IV		27 027	8109	35 136
Konrad Container Typ VI	18 519			18 519

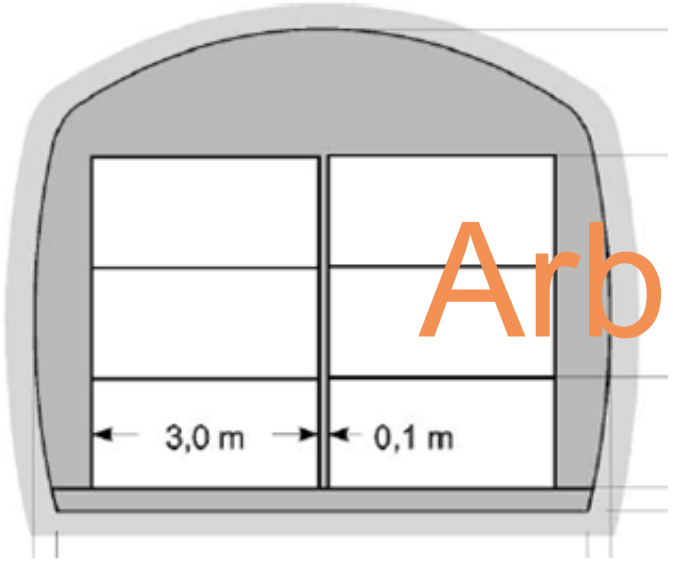
Arbeitsstand

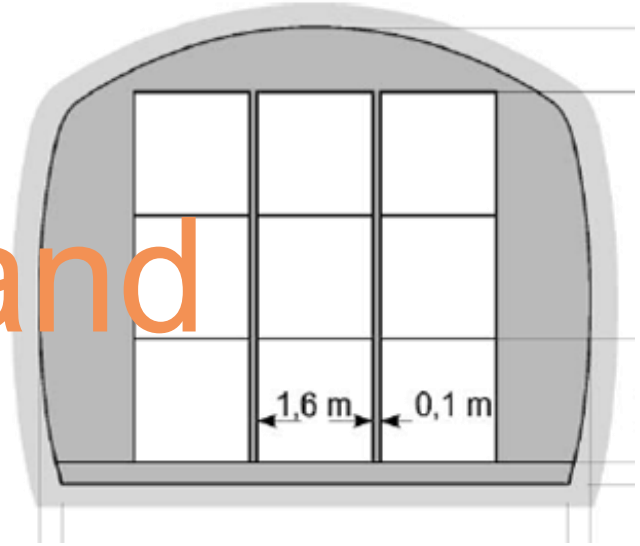
GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Streckenquerschnitte und Stapelweise der Behälter

- Streckenquerschnitt und Stapelung der Endlagergebinde vom Typ Konrad Container Typ IV und Typ VI nach Bollingerfehr et al. (2011)
- Beispielhafte Darstellung der Stapelweise von Konrad Containern Typ IV (linkes Bild) und Typ VI (rechtes Bild)





Arbeitsstand

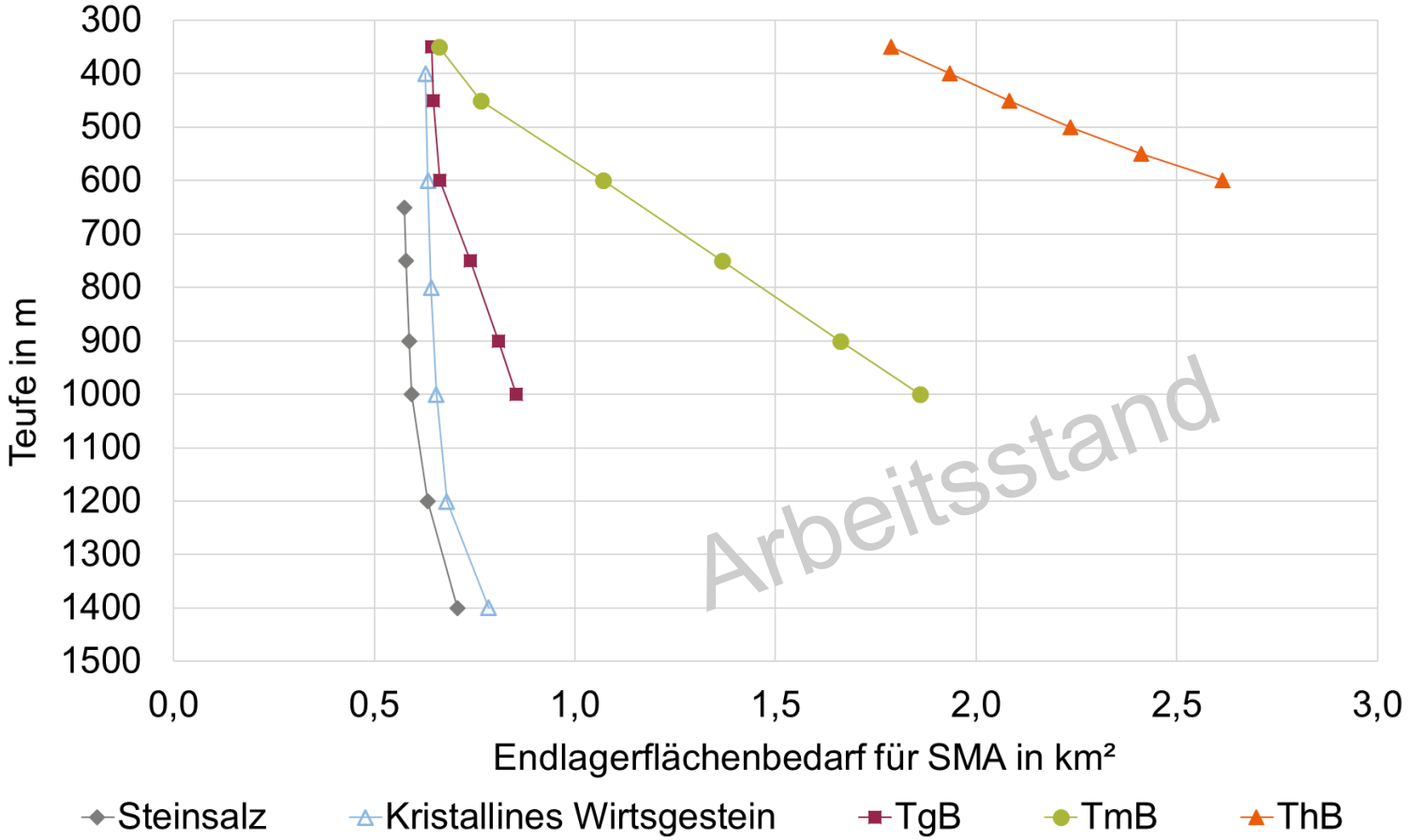
Quelle: Bollingerfehr et al. (2011)

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Ergebnisse

- Flächenbedarf abhängig von Wirtsgestein und Teufe (Gebirgsdruck)
- Flächenbedarf unabhängig von der initialen Gebirgstemperatur
- Annahme: Fläche des Infrastruktur-bereichs identisch zu HAA-Endlager



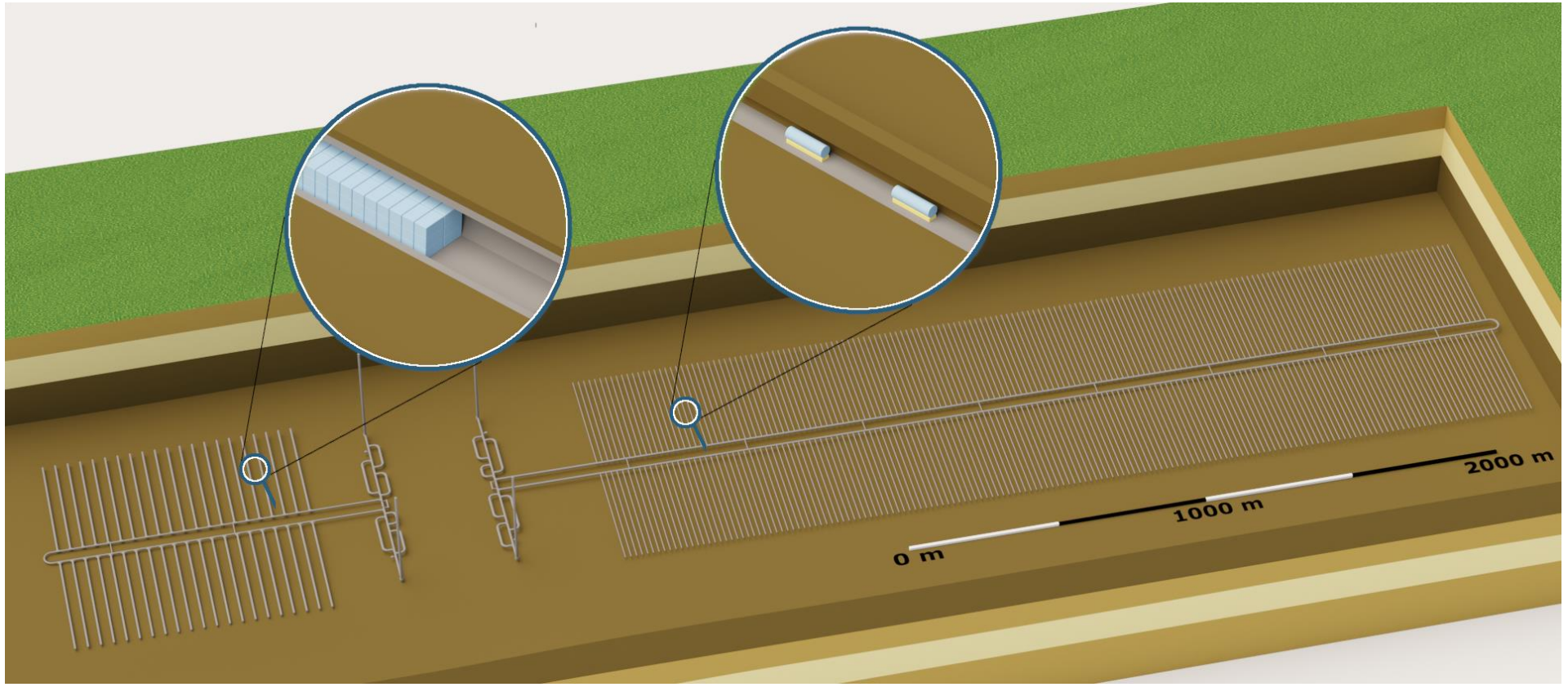
TgB: Tongestein mit geringem Beanspruchungsfaktor, TmB: Tongestein mit mittlerem Beanspruchungsfaktor, ThB: Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor

Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

FLÄCHENBEDARF SMA-ENDLAGER

Beispielhafte Darstellung der zusätzlichen SMA-Endlager am HAA-Standort im Tongestein mit mittlerem Beanspruchungsfaktor in 600 m Teufe



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

AUSBLICK

09

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ENDLAGERAUSLEGUNG HAA UND SMA – WEITERE ARBEITEN UND AUSBLICK

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

- HAA: Fertigstellung der Berechnung der Endlagerflächenbedarfsfunktionen für alle Wirtsgesteine bis Ende 2024; Weiterverwendung der Ergebnisse für die Bewertung des Flächenangebotes in Prüfschritt 4
- SMA: Bewertung der Möglichkeit der zusätzlichen Einlagerung größerer Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle nach § 7 Abs. 5 EndlSiUntV
- Laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
  - AutoMat: Bewertung der Automatisier- und Fernbedienbarkeit von Betriebsabläufen in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle
  - VerfüllEND: Machbarkeitsbewertung der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle
  - AbStand: Endlagerung hochradioaktiver sowie schwach- und mittelradioaktiver Abfälle am gemeinsamen Standort

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS (1/2)

AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
BE	Brennelement(e)
BER II	Berliner Experimentier-Reaktor II
BSt.	Brennstab, Brennstäbe
CSD-V	*Colis standard de déchets vitrifiés*, frz. Kokille für verglaste hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
DWR	Druckwasserreaktor(en)
EndlSiAnfV	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
EndlSiUntV	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
ewG	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
FEM	Finite Elemente Methode
FRM II	Forschungsreaktor München II
FRMZ	Forschungsreaktor Mainz
HAA	Hochradioaktive Abfälle
KfK	Kernforschungszentrum Karlsruhe
KNK II	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage II

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS (2/2)

MOX	Mischoxid
RFR	Rossendorfer Forschungsreaktor
rvSU	repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
SMA	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle
StandAG	Standortauswahlgesetz
SWR	Siedewasserreaktor(en)
TgB	Tongestein mit geringem Beanspruchungsfaktor
ThB	Tongestein mit hohem Beanspruchungsfaktor
THTR	Thorium-Hochtemperaturreaktor
TmB	Tongestein mit mittlerem Beanspruchungsfaktor
UCS	*Uniaxial compressiv strength*; einaxiale Druckfestigkeit
UK-HAW	*United Kingdom High-Activity Waste*, brit. Kokillen mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung
UOX	Uranoxid
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
WWER	sowjetische/russische Druckwasserreaktorbaulinie (Transkription (russisch): "*woda-wodjanoi energetitscheskij reaktor*")

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

LITERATUR (1/2)

- BGE (2020): Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II – Rückholplan, Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. 19.02.2020
- BGE (2022): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. Peine. Online verfügbar unter 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.
- BMUV (2023): Verzeichnis radioaktiver Abfälle - (Bestand zum 31. Dezember 2022 und Prognose). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Berlin. November 2023
- Bollingerfehr et al. (2011): Endlagerkonzepte. Bericht zum Arbeitspaket 5; Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. 2011. GRS. Köln.
- EndlSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)

LITERATUR (2/2)

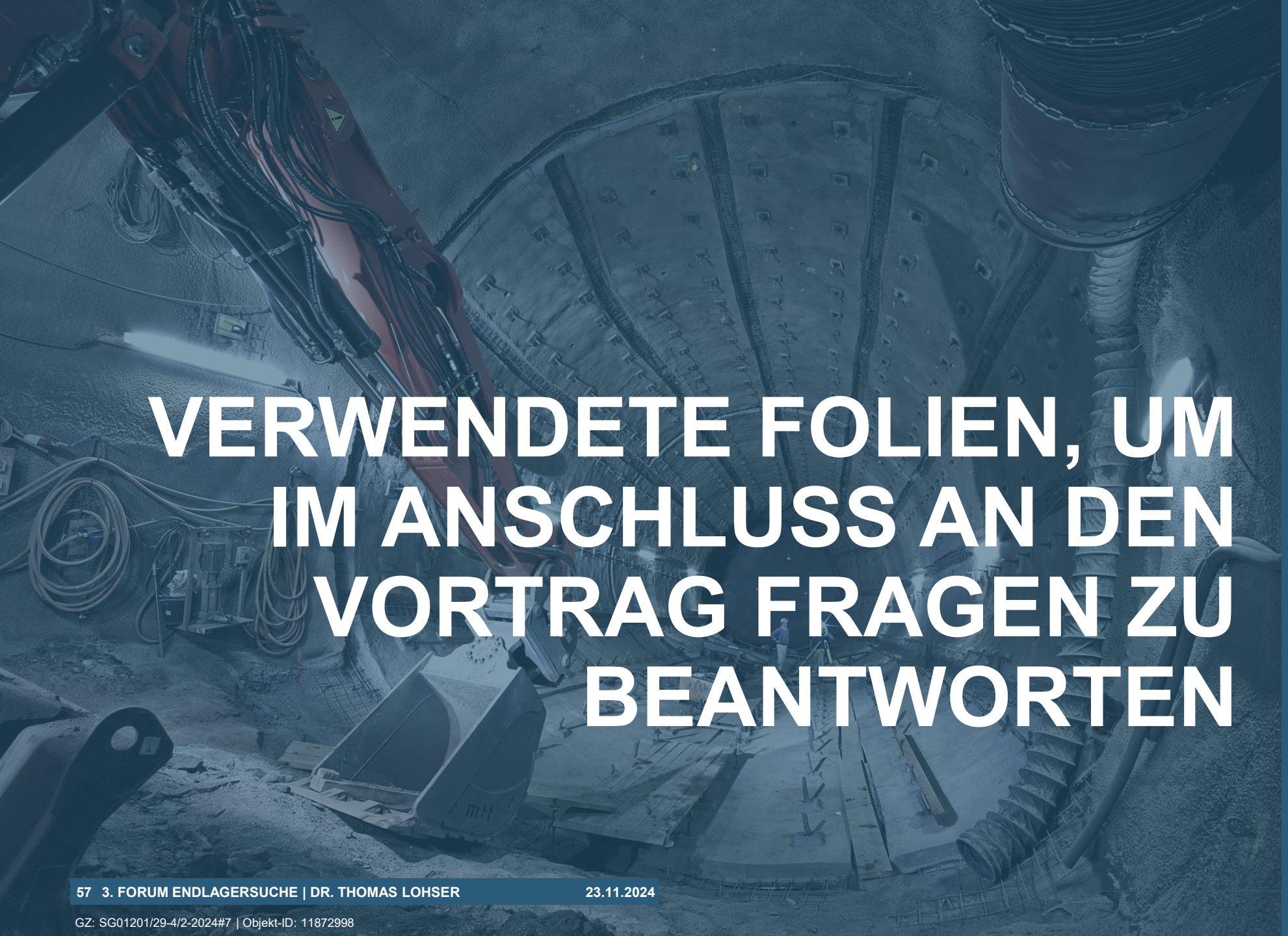
- EndlSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- Herold, P.; Bertrams, N.; Prignitz, S.; Simo Kuate, E. (2018a): Technische Konzepte für die Rückholung der Einlagerungsvariante horizontale Streckenlagerung in Tongesteinsformationen. BGE TECHNOLOGY GmbH. Peine (ERNESTA).
- Herold, P.; Prignitz, S.; Bertrams, N.; Kuate Simo, E.; Filbert, W.; Friedrich, C.; Becker, A. (2018b): Technische Konzepte für die Rückholung der Einlagerungsvariante horizontale Streckenlagerung in Salzformationen. BGE TECHNOLOGY GmbH. Peine (ERNESTA).
- Herold, Philipp; Keller, Andreas; Leonhard, Juliane; León Vargas, Rocio Paola; Bertrams, Niklas (2021): Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus einem HAW-Endlager in Kristallingestein. KOREKT. BGE TECHNOLOGY GmbH. Peine (BGE TEC 2020-28).
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 | Nr. 88) geändert worden ist

BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

DR. THOMAS LOHSER
Gruppenleiter Endlagerkonzepte |
Abteilung Sicherheitsuntersuchungen
Peine | Eschenstr. 55 | 31224 Peine

www.bge.de
www.einblicke.de

Die Newsletter der BGE

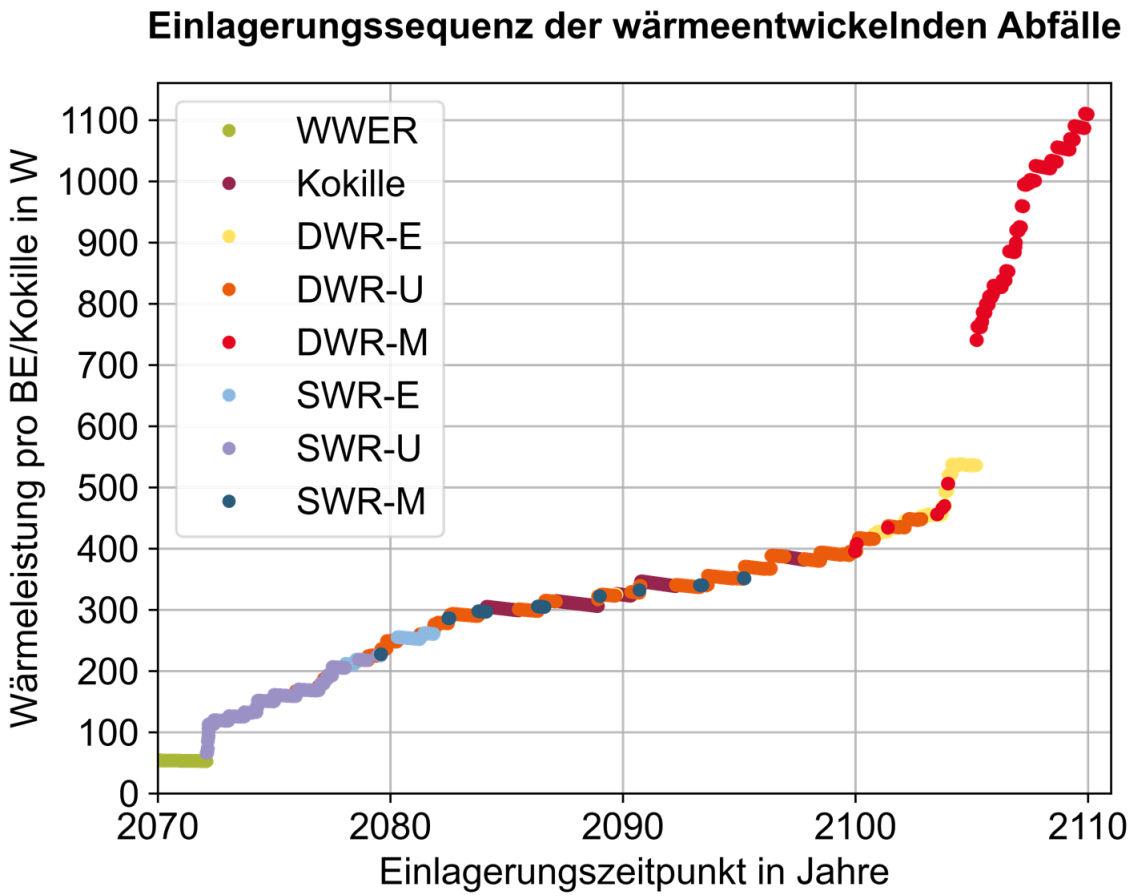


VERWENDETE FOLIEN, UM IM ANSCHLUSS AN DEN VORTRAG FRAGEN ZU BEANTWORTEN

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

VEREINFACHTE EINLAGERUNGSSEQUENZ

- Verwendung einer vereinfachten Einlagerungs-sequenz für die thermische Modellierung
- Einlagerung BE hinsichtlich ihrer Wärmeleistung
  - Kalte BE werden zuerst, heiße BE zuletzt eingelagert
  - Dadurch können heißere BE weiter abkühlen, bevor sie eingelagert werden
  - Verringerung der Gesamtwärmeleistung
- Vorteil
  - Realere Abbildung des Einlagerungsvorgangs
  - Reduktion des Flächenbedarfs durch Verringerung der Konservativität

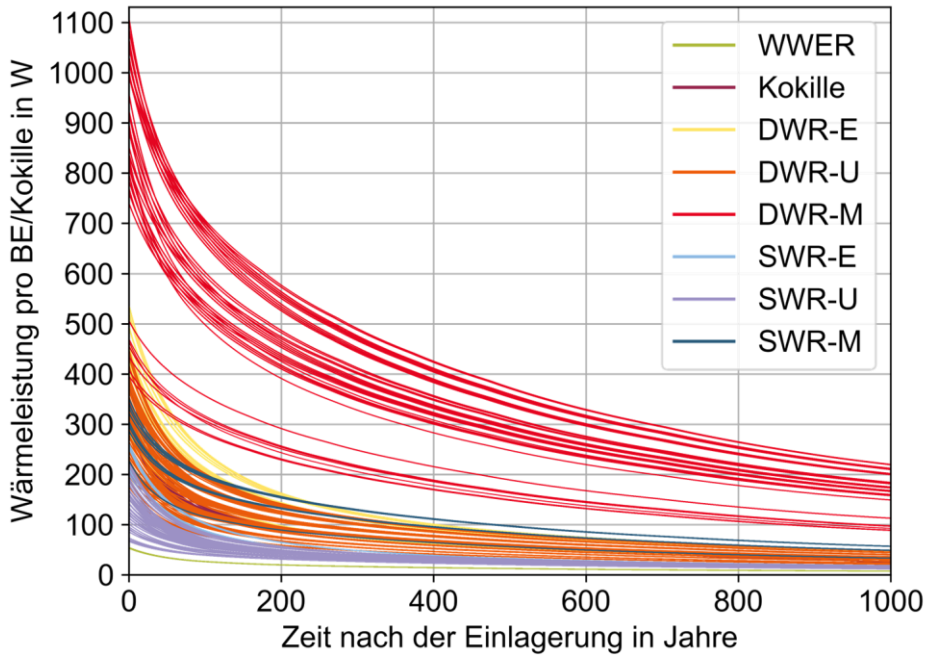


GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998

GRUNDLAGEN

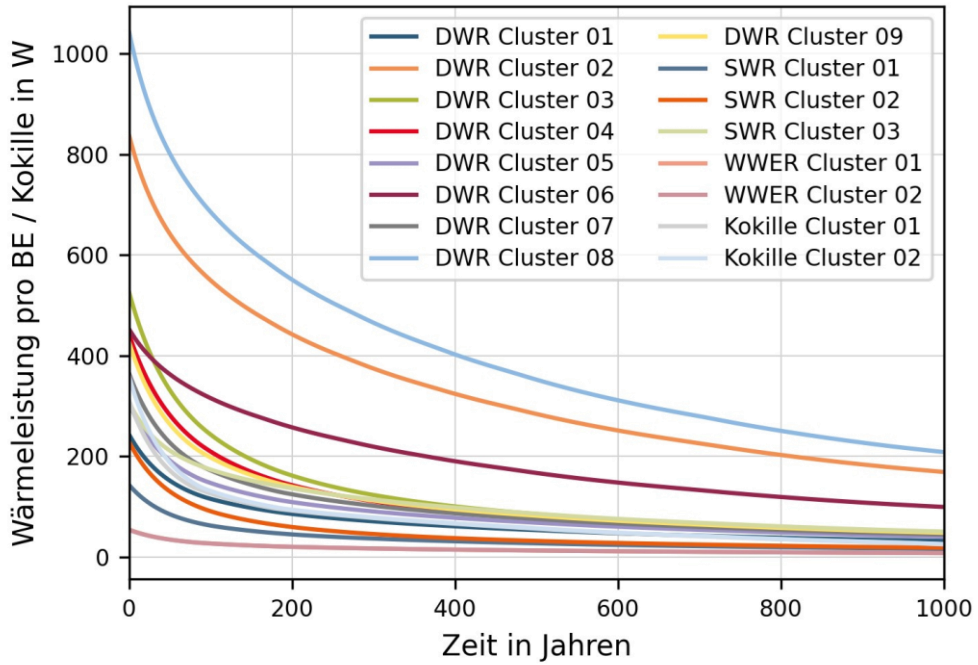
Erzeugung von Referenzwärmeleistungskurven

38287 Wärmeleistungskurven aus Einlagerungssequenz



Quelle: BGE

16 Referenzwärmeleistungskurven aus Clustering



Quelle: BGE

GZ: SG01201/29-4/2-2024#7 | Objekt-ID: 11872998