



Strategien für die HAW- Endlagerung in deutschen Tongesteinen

Ergebnisse des FuE-Projektes AnSichT

Lommerzheim, A.¹, Jobmann, M.¹, Mrugalla, S.² & Rübel, A.³

¹DBE TECHNOLOGY GmbH

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

³Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Die Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
(BMWi) unter dem Förderkennzeichen 02E11061B durchgeführt

Politische Rahmenbedingungen und resultierende Anforderungen

- **Ziel des (neuen) Standortauswahlverfahrens** ist es, in einem wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahren für die im Inland verursachten, insbesondere hoch radioaktiven Abfälle; den Standort für eine Anlage zur Endlagerung ... zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahren...gewährleistet (**Standortauswahlgesetz**)
- **Anforderung:** Vergleich der Endlagersysteme in verschiedenen Arten von Wirtsgesteinen.
- **Voraussetzung** für Optionenvergleich: hinreichende Grundlagenkenntnisse (Geologie, Endlager- und Sicherheitskonzepte) für alle potentiell geeigneten Gesteinstypen .
- **Bisheriger Schwerpunkt der Endlagerforschung:** **steil lagernde Salzformationen (Salzstöcke)**. Ton in geringerem Umfang untersucht, flachlagernde Salze und Kristallingesteine kaum betrachtet.
- **Konsequenz:** Die neue politische Ausrichtung im Hinblick auf die Standortauswahl erfordert eine Intensivierung der Grundlagenforschung auch in anderen Wirtsgesteinen (z.B. flach lagernde Salze, Ton, Kristallingesteine) und die Entwicklung entsprechender Endlagerkonzepte

Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein - AnSichT (Projektpartner: BGR, DBE TEC, GRS)

Ziel des FuE-Vorhabens:

Überprüfung und Bewertung des erreichten Standes von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf die Qualität und Vollständigkeit des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von HAW-Endlagern in Tonsteinformationen in Deutschland

Laufzeit: 2011 – 2016 (Verlängerung bis 2019 geplant)

Entwicklung generischer Endlagerkonzepte, die für die unterschiedlichen geologischen Rahmenbedingungen in Nord- und Süddeutschland geeignet sind.

Grundlagen

- Art und Menge der endzulagernden Abfälle
- Geologische Verhältnisse
- Sicherheitskonzept (gesteinsspezifisch)

Anforderungen

- Regulatorische Anforderungen (AtG, StrlSchV, BMU-Sicherheitsanforderungen, BBG)
- Anforderungen des Sicherheitskonzepts an das Endlagerkonzept
 - Kompatibilität mit dem Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches
 - Auslegung der Behälter und der Verschlussbauwerke gemäß der erforderlichen Funktionsdauer
 - Einhaltung von Temperaturgrenzwerten
 - Einhaltung von Sicherheitsabständen (z.B. zu Gebirgsbereichen mit ungünstigen Eigenschaften)
 - Mindestabstand von der Erdoberfläche (Vermeidung von Beeinträchtigungen durch Oberflächeneinflüsse (z.B. in zukünftigen Kaltzeiten))
- Betriebliche Anforderungen
 - je nach vorgesehenem Equipment und Betriebsabläufen (Bergbauliche Tätigkeiten, Transport, Einlagerung, Rückholbarkeit und Bewetterung)
 - Betriebssicherheit

Strategien für die HAW-Endlagerung: Abfallmengengerüst

Abfallstrom				Bohrlochlagerung Endlagerbehälter	Streckenlagerung Endlagerbehälter
Brennelemente aus Leistungsreaktoren	DWR	UO ₂	12.450 BE	6.990 RK-BE	4.660 Pollux-3
		MOX	1.530 BE		
	SWR	UO ₂	14.350 BE	2.600 RK-BE	1.734 Pollux-3
		MOX	1.250 BE		
	WWER-DWR	UO ₂	5.050 BE	1.010 RK-BE	674 Pollux-3
	Strukturteile aus der BE-Kondition.			874 RK-ST	2620 Mosaik
Wiederaufarbeitung	CSD-V		3.729 Kokillen	1.245 RK-HA	1.245 Pollux-3
	CSD-B		308 Kokillen	103 RK-WA	35 Pollux-9
	CSD-C		4.104 Kokillen	1.368 RK-WA	456 Pollux-9

Abfallmengen der Brennelemente aus Leistungsreaktoren und aus der Wiederaufarbeitung unter Berücksichtigung des Ausstiegsbeschlusses der Bundesregierung (nach VSG)

Strategien für die HAW-Endlagerung: Referenzbehälter

Behälter aus anderen Projekten übernommen bzw. existierende Behälter modifiziert (keine Auslegungsrechnungen, keine Funktionsnachweise)

CSD-Kokille:

1,34 x 0,43 m, 0,5 t



BSK 3 > abgeleitet Rückholbare Kokille:

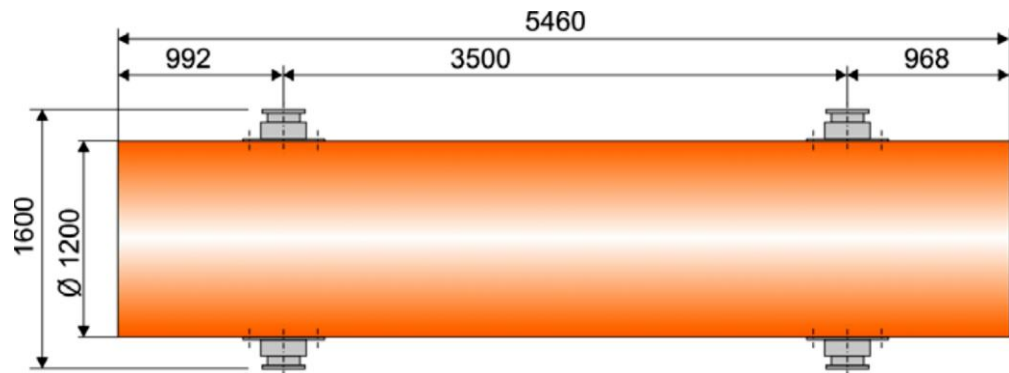
4,98 x 0,43 m, 5,3 t

- 2 DWR-BE,
- 6 SWR-BE,
- 5 WWER-DWR-BE
- 3 CSD-V, CSD-B oder CSD-C
- BE-Strukturteile



MOSAIK®-Behälter:

1,50 x 1,06 m, ca. 6 t



POLLUX®-Behälter :

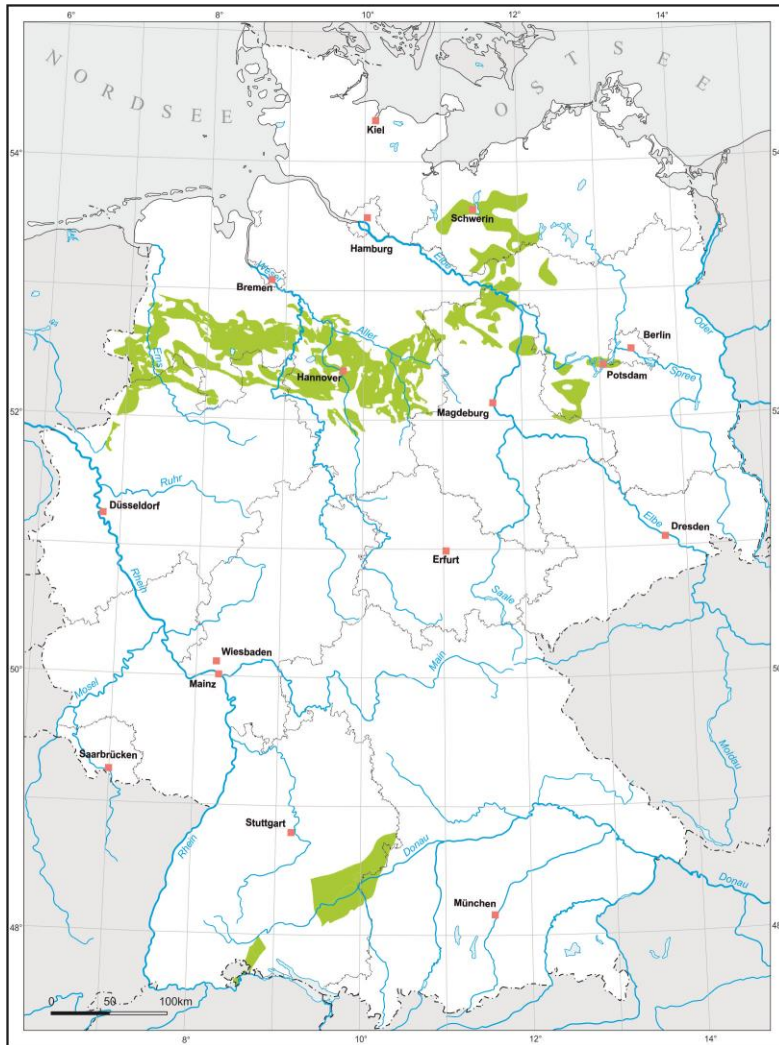
POLLUX®-3 (Entwurf, ca. 38 t):

- 3 DWR-BE,
- 9 SWR-BE,
- 7,5 WWER-DWR-BE
- 3 CSD-V

POLLUX®-9 (Entwurf, ca. 65 t):

- 9 CSD-B
- 9 CSD-C

Regionale Tonstudie der BGR (2007)



untersuchungswürdige Tongesteinsformationen in Deutschland
(Hoth et al. 2007)

- Gebirgsdurchlässigkeit: kleiner 10^{-10} m/s
- Tiefenlage: 300 bis 1000 m
- Ausdehnung: größer 10 km²
- Mächtigkeit: größer 100 m
- Weitere Kriterien: Undergroundnutzung, Störungshäufigkeit, Neigung
- *Ausschlusskriterien: Vulkanismus, Erdbeben, aktive Störungszonen*

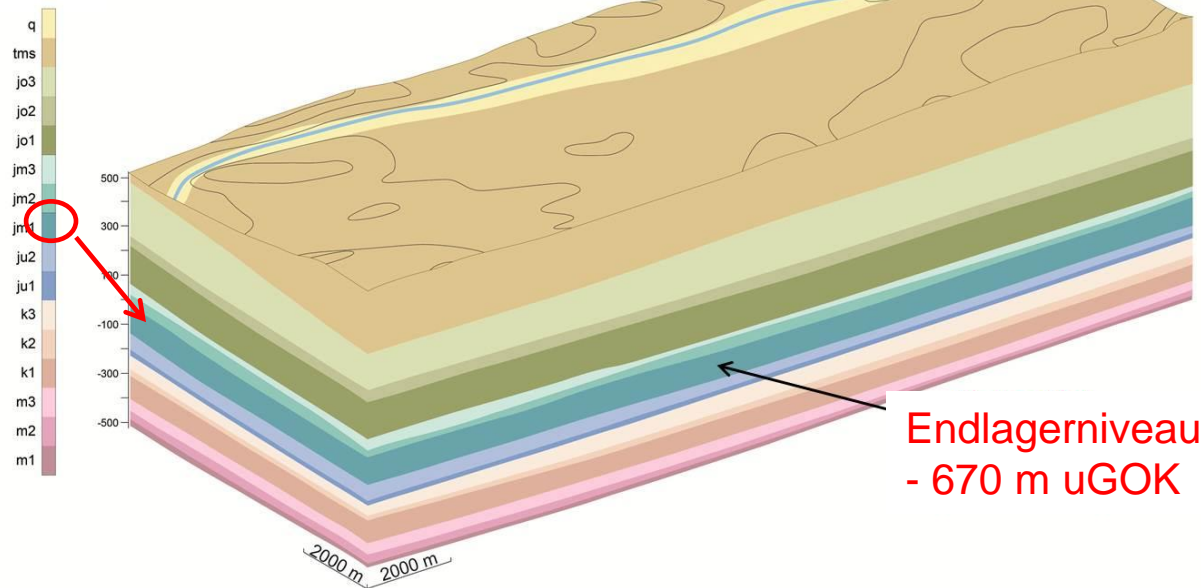
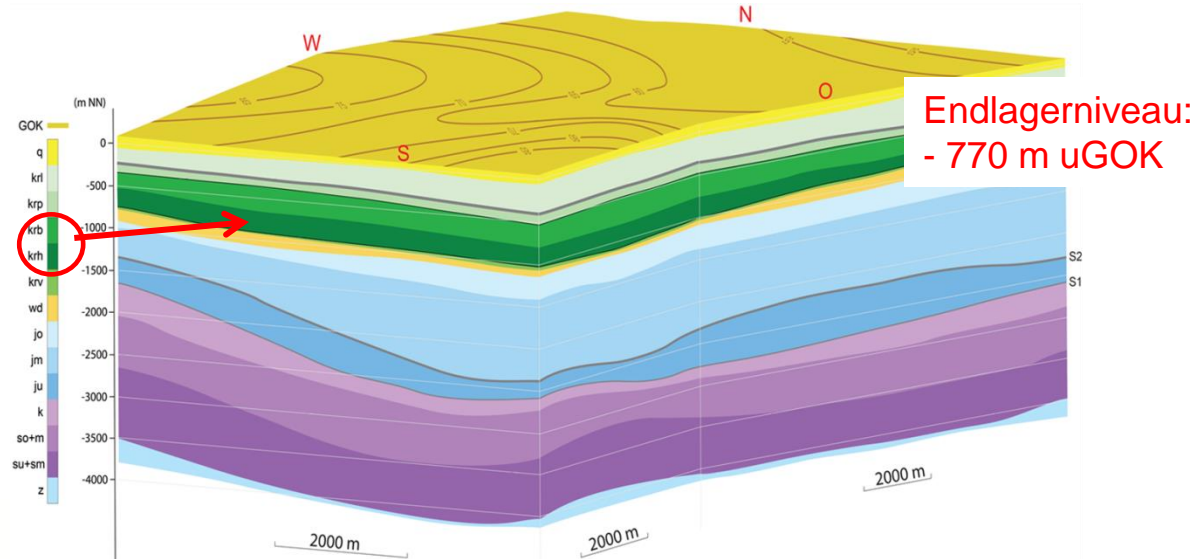
Modifizierte Anforderungen im Projekt ANSICHT:

- Potenzielles Einlagerungsniveau in einer Teufenlage zwischen 600 m und 800 m
- Standort in einer regional gut charakterisierbaren tonigen Schichtenfolge

Strategien für die HAW-Endlagerung: Geologie

Modell NORD

Wirtsgestein:
Barremium & Hauterivium
(ca. 540 m, Unterkreide Tone)



Modell SÜD

Wirtsgestein:
Opalinus Ton
(ca. 110 m, Jura Ton)

Endlagerniveau:
- 670 m uGOK

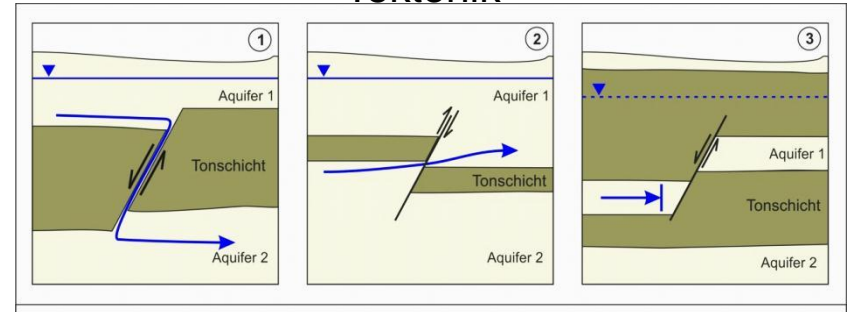
Geowissenschaftliche Langzeitprognose

Aktualitätsprinzip: Extrapolation der vergangenen Entwicklungen in die Zukunft

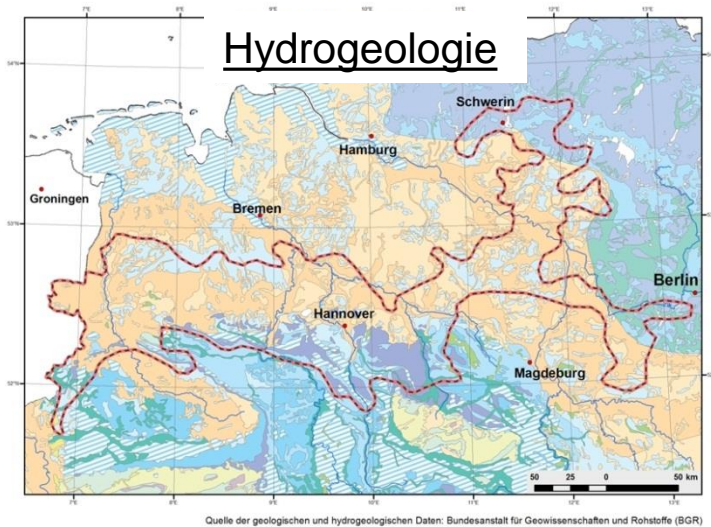
Klimaentwicklungen



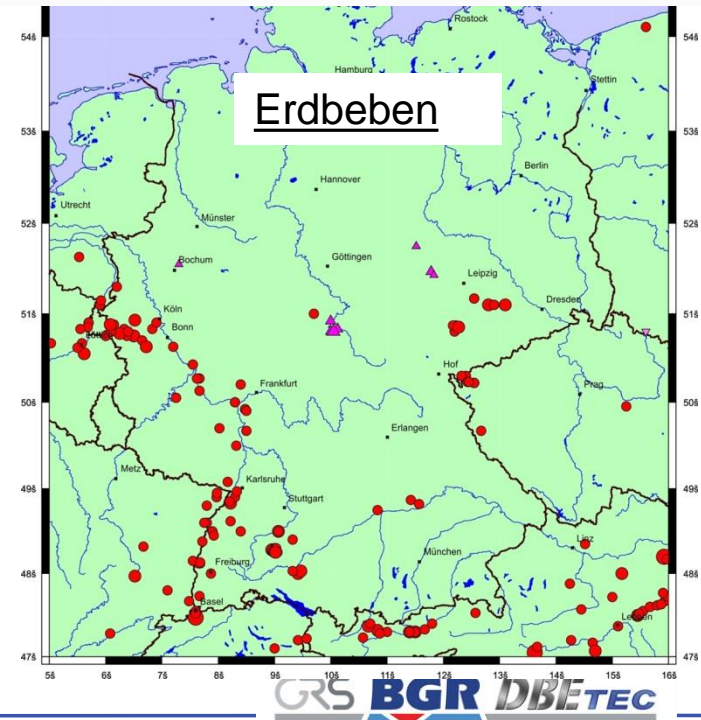
Tektonik



Hydrogeologie



Erdbeben



Sicherheitsanforderungen des BMU (2010)

Nachsorgefreier Einschluss der RN im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

Geringfügige Freisetzen von RN am Rand des ewG

ANSICHT

Prinzip: Rückhaltung der Radionuklide durch Behinderung des Schadstofftransportes

Begrenzung des advektiven und diffusiven Stofftransportes

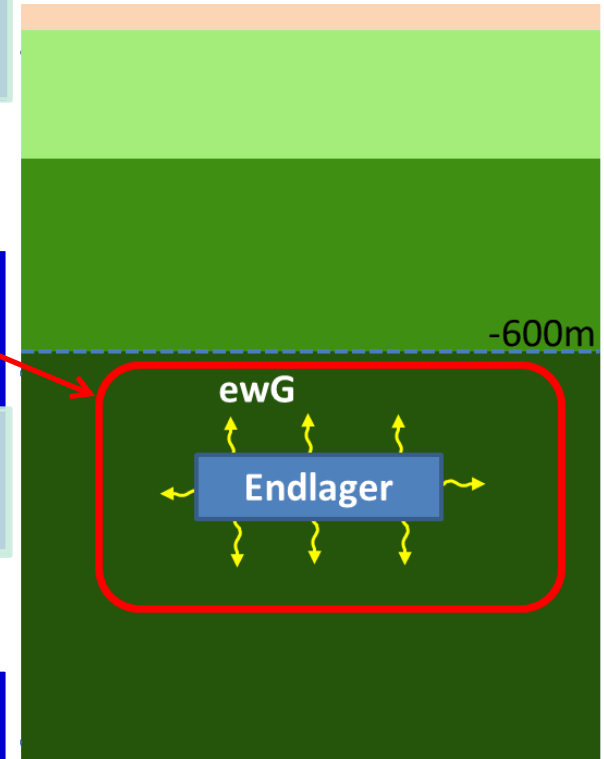
Wiederherstellung der ursprünglichen geringen Permeabilität im ewG

Umsetzung des Sicherheitsziels durch

Eigenschaften des Wirtsgesteins:
geringe Permeabilität,
Sorption, Plastizität

Gewährleistung der
Integrität des ewG
über den
Nachweiszeitraum

tech. / geotech.
Barrieren
Behälter,
Verschluss-
bauwerke



Zielsetzungen

ewG

- Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im Nachweiszeitraum

RN-
Transport

- Verhinderung des advektiven Transports (Verschließen von Wegsamkeiten)
- Verzögerung und Begrenzung der Mobilisierung, des Transportes und der Freisetzung der Radionuklide

Wirts-
gestein

- Rasche Wiederherstellung des ursprünglichen Spannungszustandes im Gebirge
- Begrenzung der Gasdruckaufbaurrate und des Gasdrucks
- Beschränkung der mikrobiellen Aktivität

Regulat.
Anforde-
rungen

- Rückholbarkeit der Abfallgebinde in der Betriebsphase
- Bergbarkeit der Abfallgebinde für 500 a
- Vermeidung der Freisetzung radioaktiver Aerosole (500 a)

Regulat.
Anforde-
rungen

- Verhinderung der Kritikalität
- Begrenzung des Risikos bzw. der Konsequenzen eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens

Grundlagen

Auffahrung und Errichtung des Endlagerbergwerkes

- Einlagerungssohle zwischen 600 und 800 m Teufenlage
- Endlagerkonzept kompatibel mit der Mächtigkeit, den Eigenschaften und der Ausdehnung des Wirtsgesteins
- Einlagerungssohle allseitig von Wirtsgestein umschlossen
- Rückholbarkeit und Bergbarkeit der Abfallbinde gemäß BMU (2010)

Wiederherstellung / Erhaltung der Integrität der geologischen Barriere

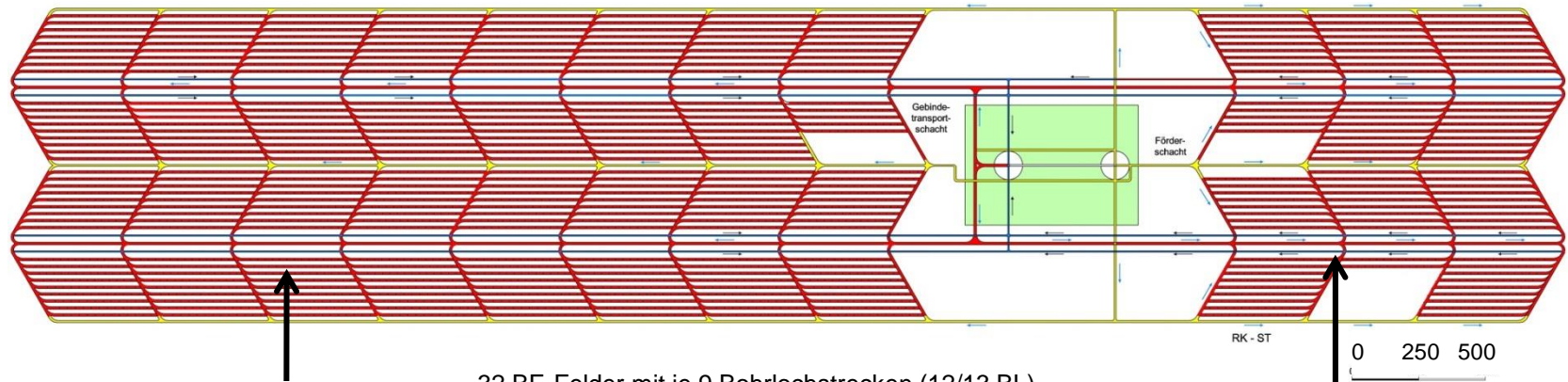
- Minimierung der aufgefahrenen Grubenräume
- Einlagerung im Rückbau
- Verschließen von Schächten, Strecken und Bohrlöchern
- Verfüllung der offenen Hohlräume mit quelfähigem Versatz
- Begrenzung der Temperaturen im Wirtsgestein

Grundelemente der untertägigen Teile des Endlagers

- Einsöhliges Grubengebäude
- Trennung aller Grubenräume in Strahlenschutzbereiche (Kontrollbereiche – KB und Überwachungsbereiche - ÜB)
- 2 Schächte
 - Frischwetterschacht (ÜB): Haufwerk, Personal- und Materialtransport
 - Abwetterschacht (KB): Gebindetransport
- Infrastrukturbereich (ÜB/KB)
- Gebindetransport- und Abwetterstrecken (KB), Bergbaustrecken (ÜB)
- Trennung unterschiedlicher Abfallarten in verschiedenen Teilen des Grubengebäudes
- Anordnung der Einlagerungsfelder zwischen Richtstrecken (ÜB, KB)
- Einlagerung der Abfallgebinde in Vertikalbohrlöchern oder Einlagerungsstrecken (KB)
- Geometrie der Einlagerungsbereiche entsprechend der maximal zulässigen Grenztemperatur (150°C an der Grubenraumkontur)
- Einlagerung im Rückbau: beladene Einlagerungsbereiche werden abgeworfen
- alle Grubenräume mit Betonausbau stabilisiert

Strategien für die HAW-Endlagerung: technische Planungen

Endlagerkonzept Nord (Einlagerungssohle): *Bohrlochlagerung*

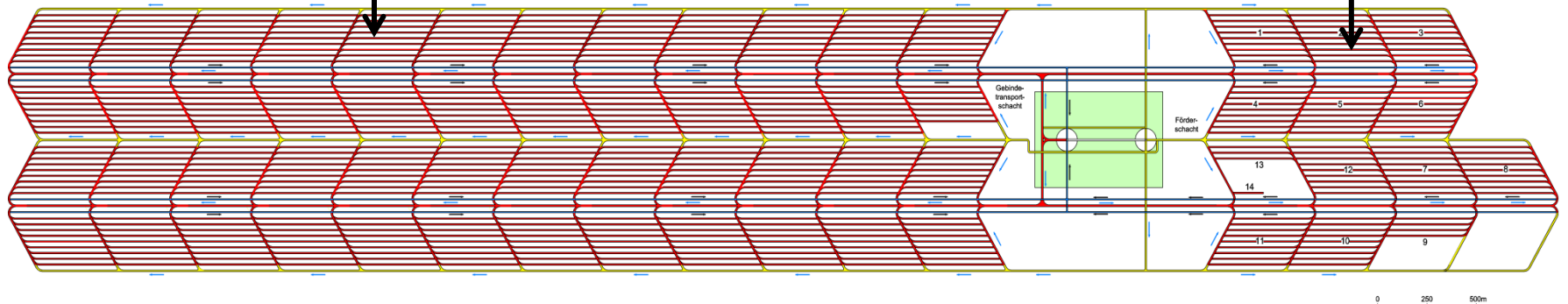


Ausgediente Brennelemente

32 BE-Felder mit je 9 Bohrlochstrecken (12/13 BL)
12 WA-Felder mit je 9 Bohrlochstrecken (19/20 BL)
Flächenbedarf: 7,6 km²

Wiederaufarbeitungsabfälle

Endlagerkonzept Süd (Einlagerungssohle): *Streckenlagerung*

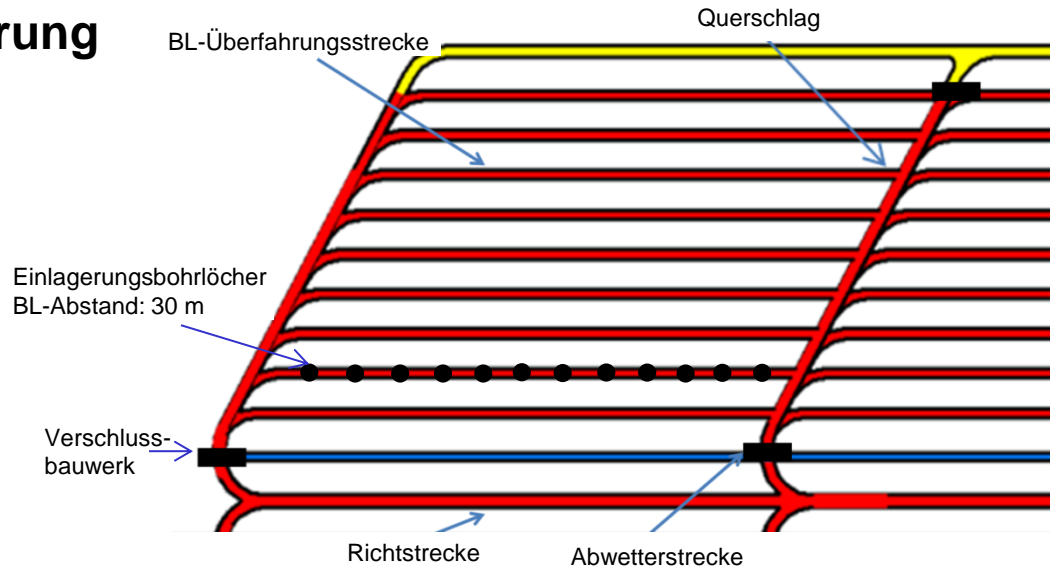
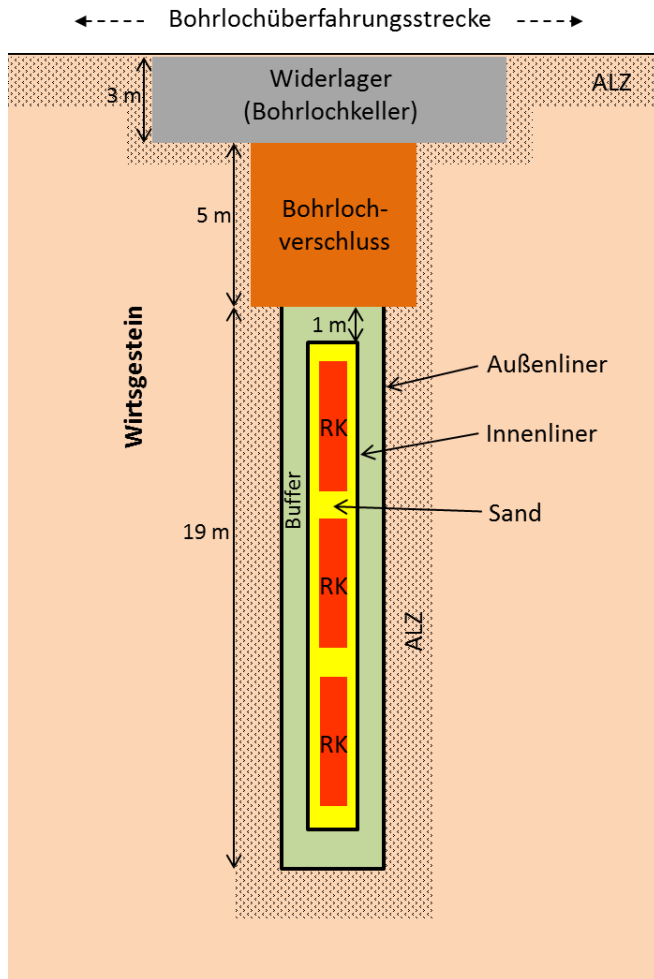


48 BE-Felder mit je 9 Einlagerungsstrecken
13 WA-Felder mit je 9 Einlagerungsstrecken
Flächenbedarf: 11,1 km²

1 - 9 Pollux 3 - CSD-V
10 - 13 Pollux 9 - CSD-CB
14 Mosaik - Behälter

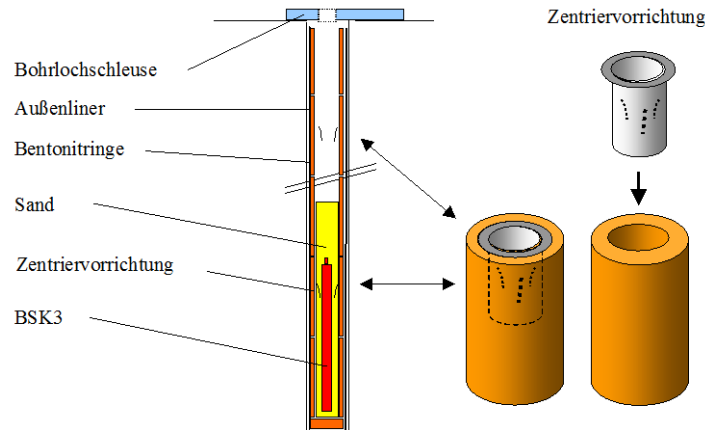
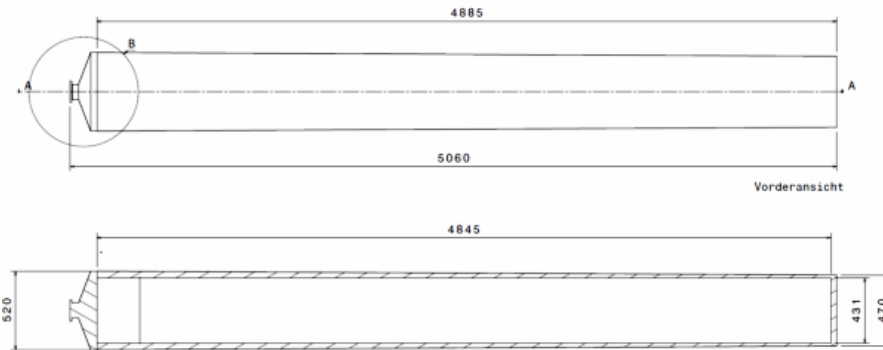
Strategien für die HAW-Endlagerung: technische Planungen

Referenzkonzept Bohrlochlagerung



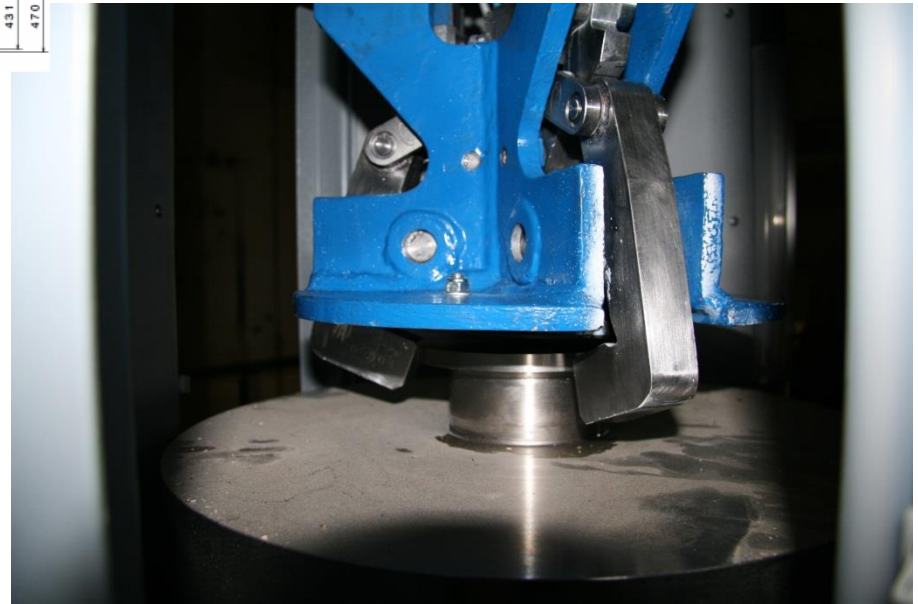
Rückholung für Bohrlochlagerung

Rückholungsspezifische Merkmale: konischer Behälter mit Greifpilz, Bohrloch mit Innenliner, im Innenraum des Liners: RK in Sandverfüllung



Ablauf:

- Entfernen des Bohrlochverschlusses,
- Öffnen des Innenliners,
- Absaugen des Sandes,
- Greifen und Ziehen der Kokille

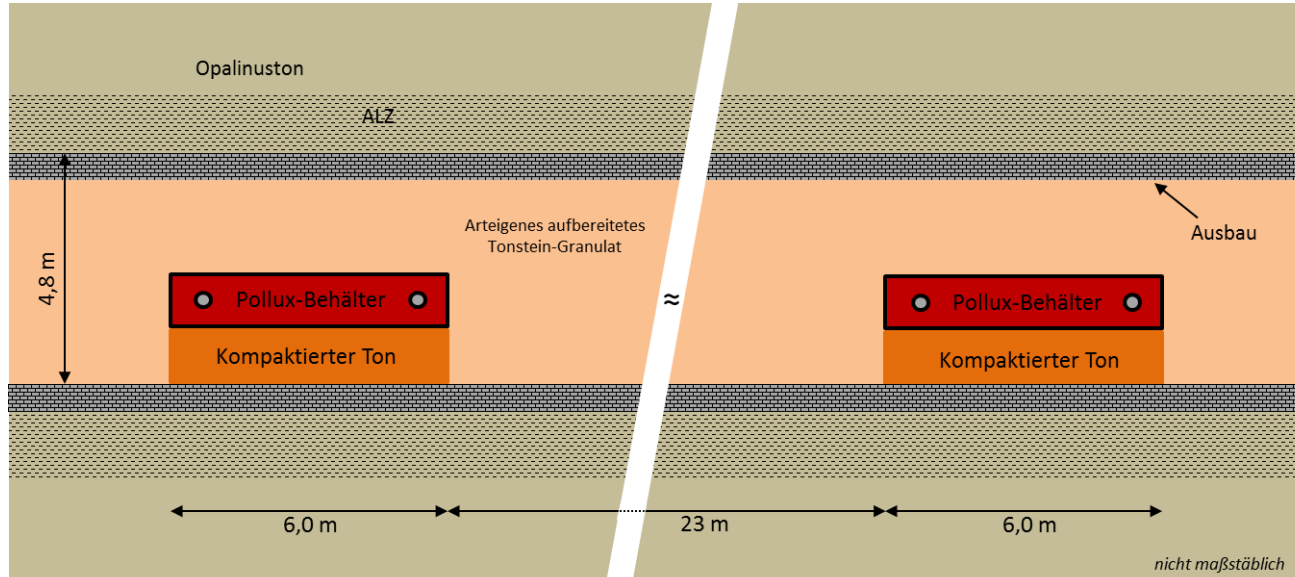
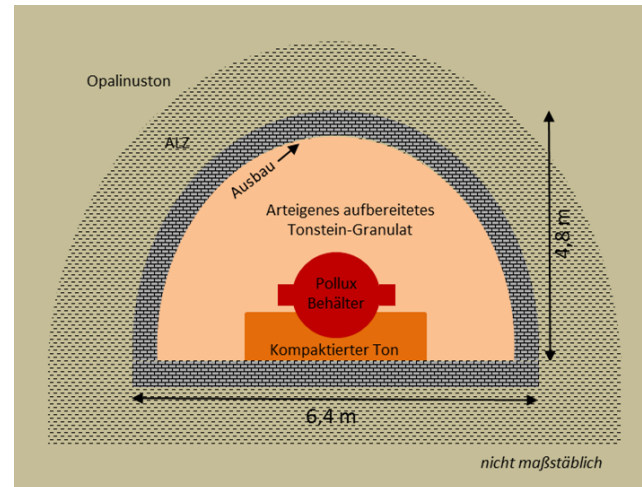


Strategien für die HAW-Endlagerung: technische Planungen

Referenzkonzept: Streckenlagerung

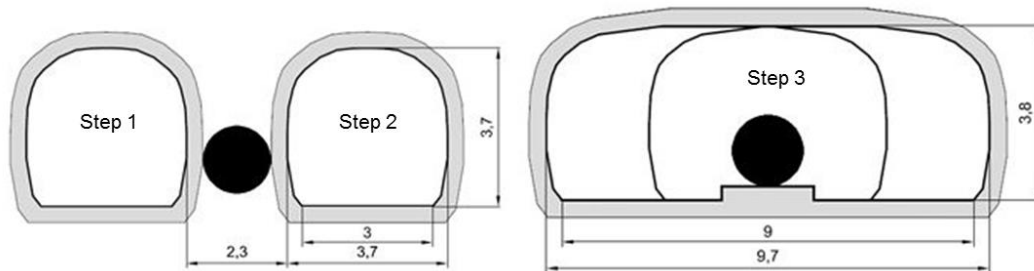
Kenngrößen:

- Streckenquerschnitt: 6,4 m (breit) x 4,8 m (hoch),
- Streckenlänge: 400 m,
- Streckenausbau: ca. 30-50 cm stark,
- Behälter auf Ton-Auflager,
- Behälterabstand: 23 m,
- Hohlraum versetzt mit Tongranulat,
- Abdichtung durch Verschlussbauwerke



Rückholung für die Streckenlagerung

Merkmale: Strecke mit Ausbau, POLLUX-Behälter auf Ton-Auflagern, Streckenverfüllung mit Tongranulat



Ablauf:

Phase 1: Auffahrung zweier Parallelstrecken

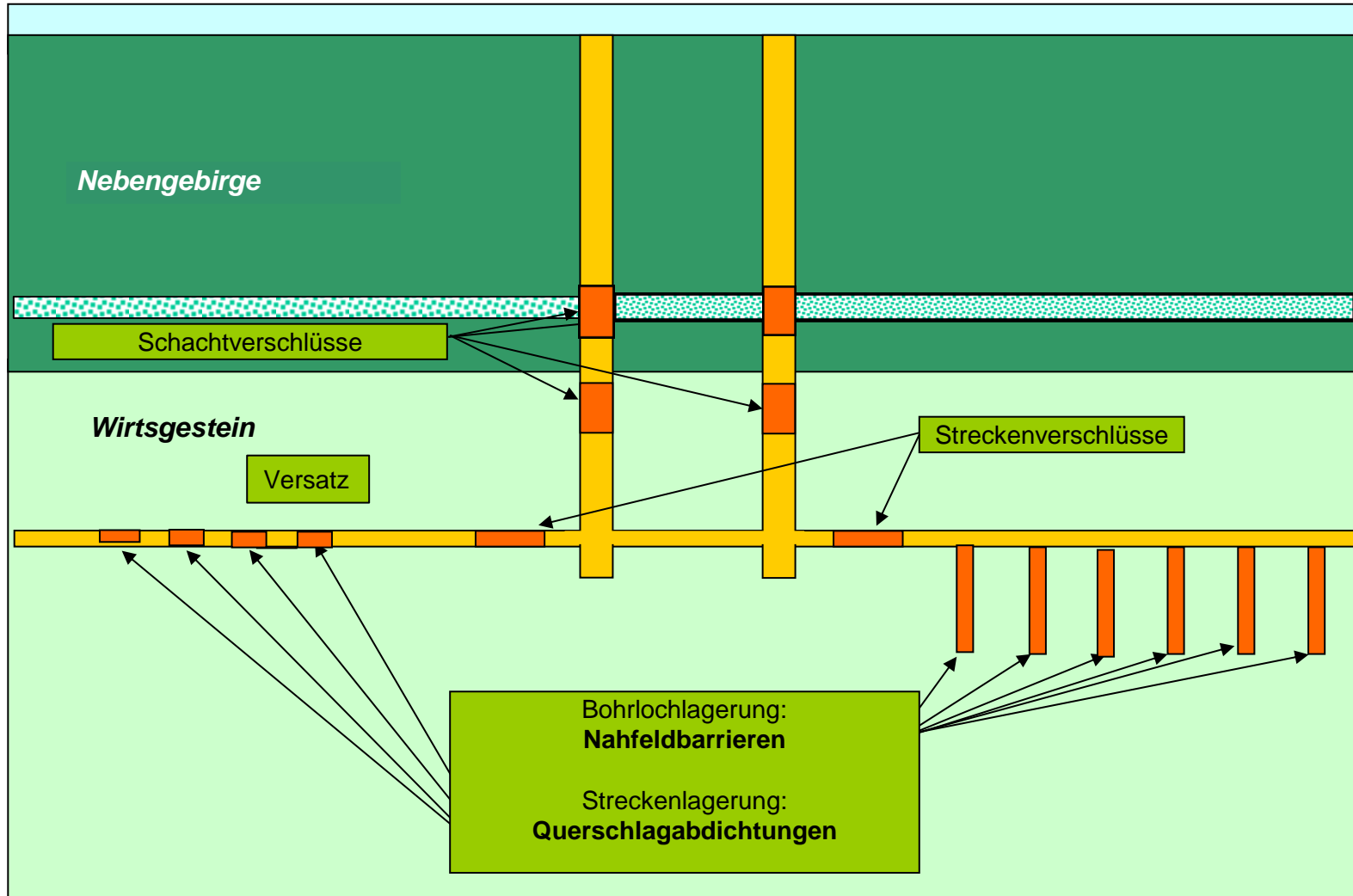
Phase 2: Seitliches Freischneiden des Behälters



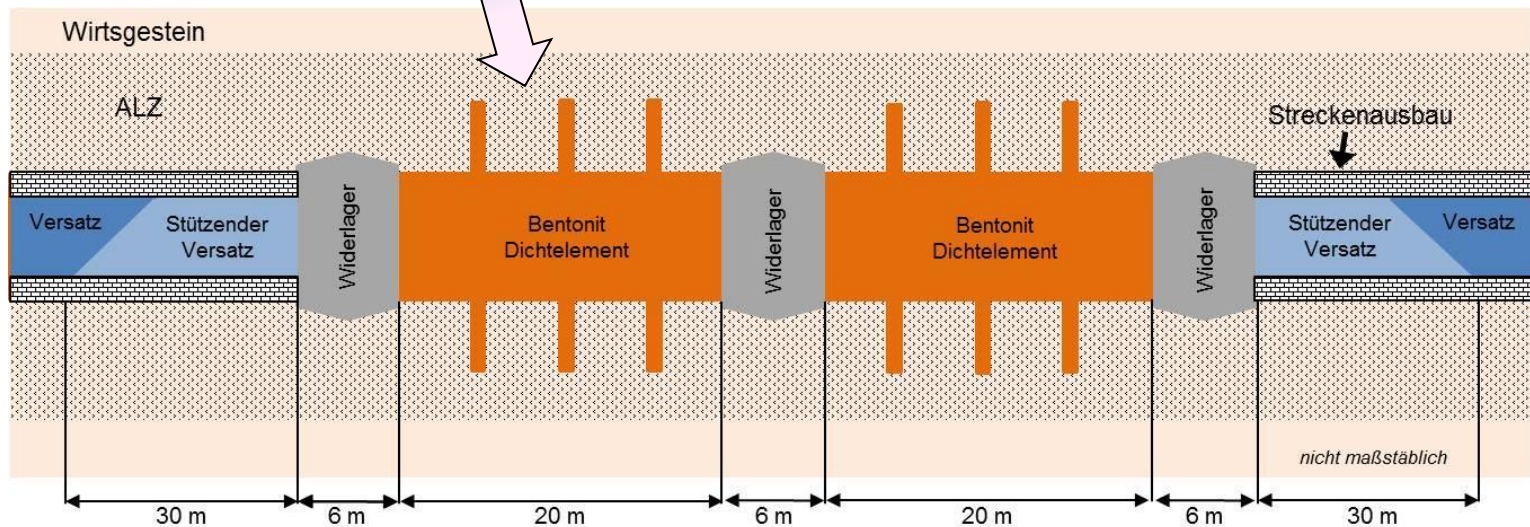
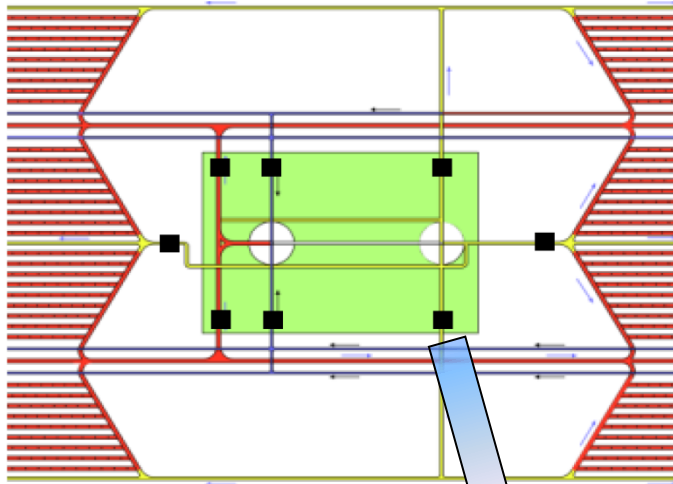
Phase 3: Umkehrung der Einlagerung



Strategien für die HAW-Endlagerung: Verschlusskonzept



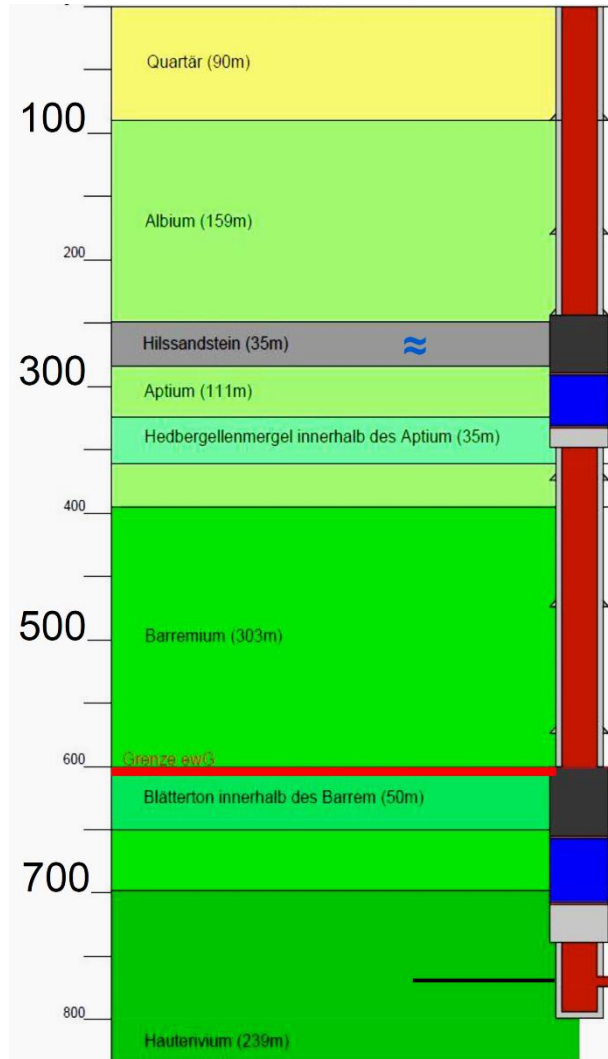
Streckenverschlüsse



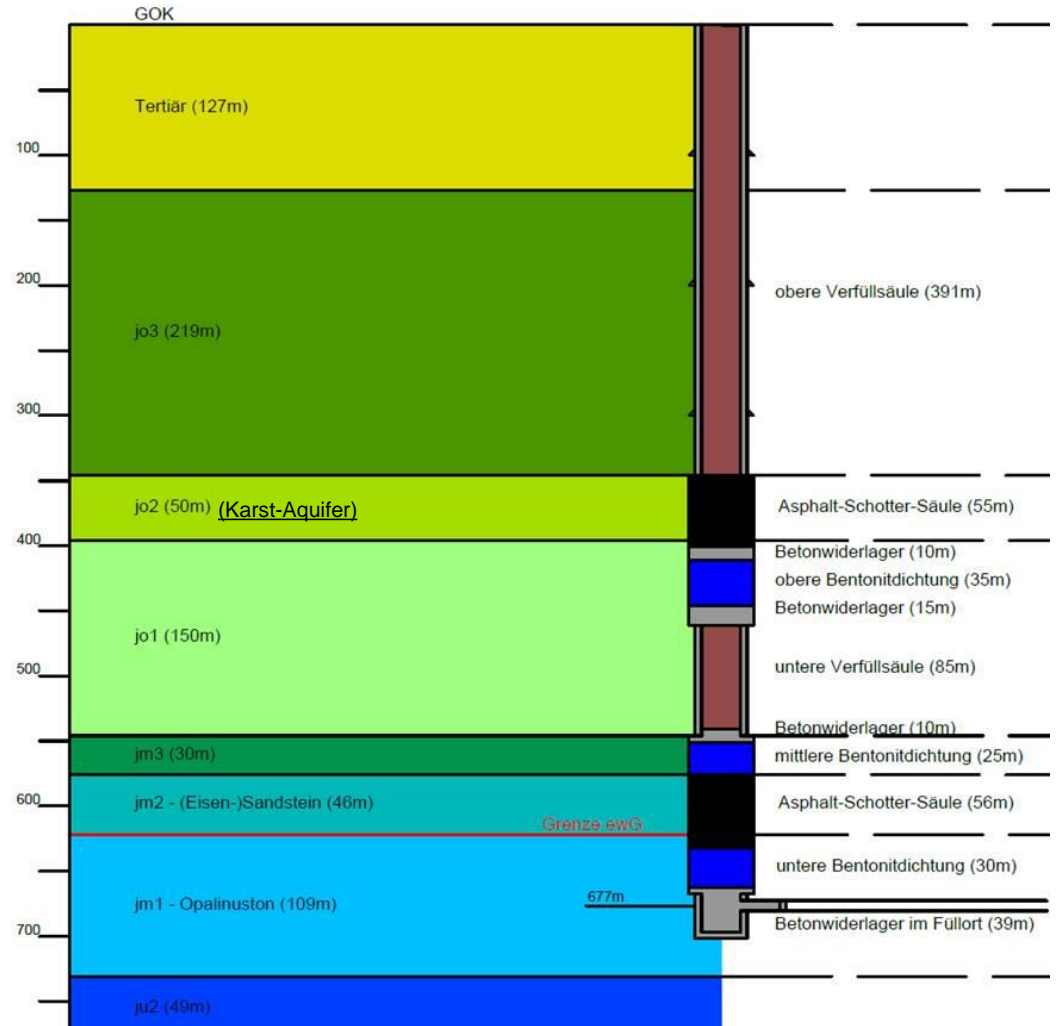
Strategien für die HAW-Endlagerung: Verschlusskonzept

Schachtverschlüsse

Norddeutschland



Süddeutschland



Zusammenfassung und Ausblick

- Geologische Modelle für Nord- und Süddeutschland sowie die dazu gehörigen Geowissenschaftlichen Langzeitprognosen wurden erstellt.
- Wirtsgesteinsspezifisches Sicherheitskonzept gemäß BMU Sicherheitsanforderungen entwickelt.
- Zwei generische Endlagerkonzepte - unter Berücksichtigung der Rückholung / Bergung - abgeleitet.
- Generische Verfüll- und Verschlusskonzepte wurden entwickelt.
- Methodik des Funktions-/Integritätsnachweises für die geotechnischen Komponenten festgelegt.

to do:

- *Konkretisierung der geologischen Daten.*
- *Zusätzliche Abfallinventare (Forschungsreaktor-BE, nicht Konrad-gängige LAW / MAW)*
- *Endlagerkonzept für kombinierte HAW / LAW-MAW - Endlagerung*
- *Optimierung der Endlager- und Verschlusskonzepte*
- *Untersuchungen zur Rückholung / Bergbarkeit*
- *Integritätsanalysen für geotechnische Barrieren*
- *Sicherheitsnachweise für die Betriebs- und frühe Nachverschlussphase*

Danke für ihre Aufmerksamkeit !