



**Wirtsgestein Salz:
Forschungsstand und Forschungsbedarf aus der
Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)**

Guido Bracke, GRS gGmbH

20. Januar 2015

Beteiligte (07/2010 – 03/2013)



KIT
Karlsruhe Institute of Technology



n|se
international



TU Clausthal



GOETHE
UNIVERSITÄT
FRANKFURT AM MAIN

und Dr. Bruno Baltes

Inhalt

- Aufgabenstellung der VSG
- Projektstruktur
- Forschungsstand / Forschungs- und Entwicklungsbedarf

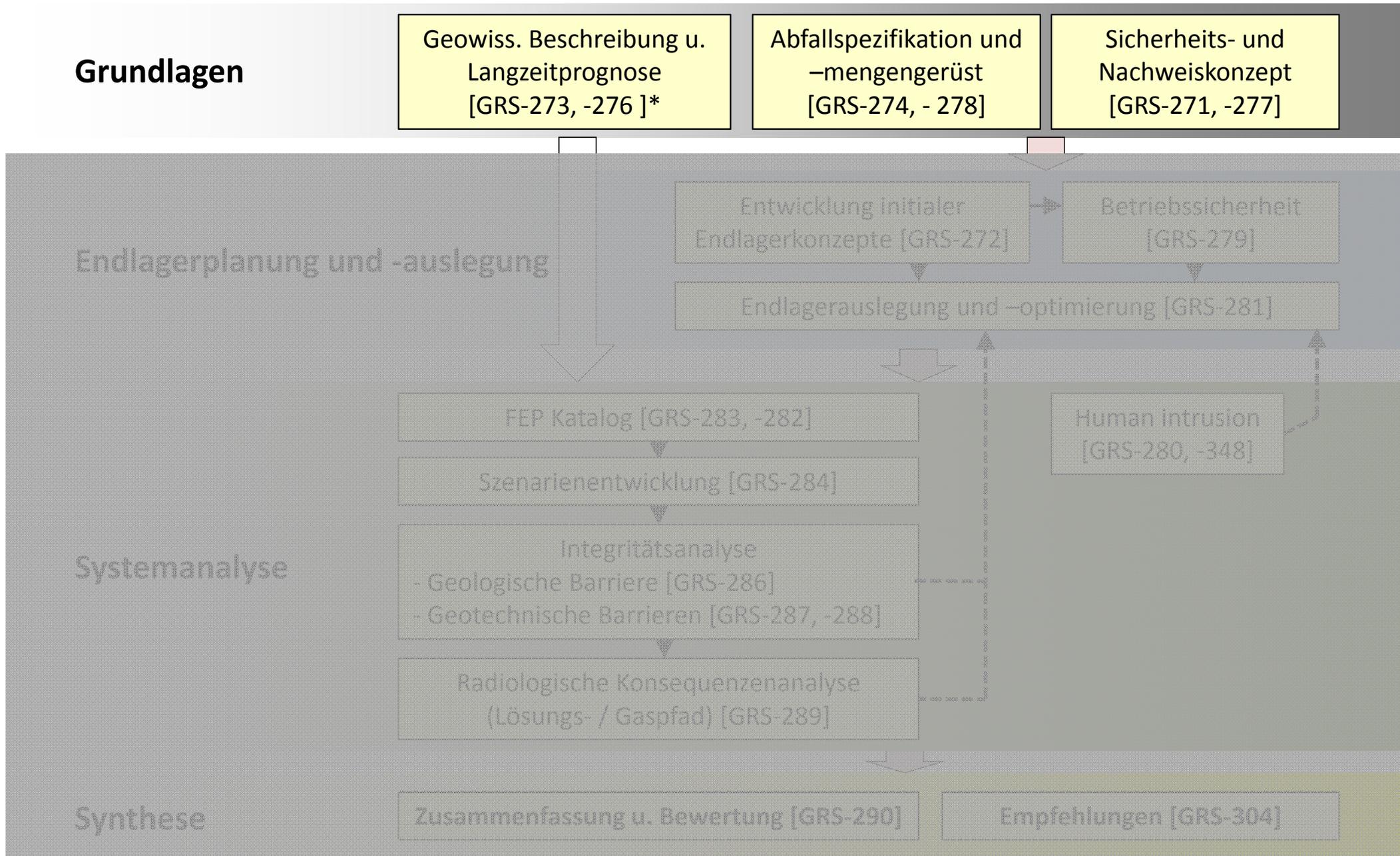


Aufgabenstellung der VSG*

- Zusammenfassung und Aufbereitung bisheriger Erkundungs- und Forschungsergebnisse zu Gorleben und zur Endlagerforschung im Salz (2010)
- Weiterentwicklung von Endlagerkonzepten für Salzstandorte
- Durchführung einer vorläufigen Sicherheitsanalyse mit dem Schwerpunkt Langzeitsicherheit auf der Basis des heutigen Kenntnisstandes
- Bewertung der Analyseergebnisse anhand der Sicherheitsanforderungen des BMU (2010)
- Übertragbarkeit von technischen / konzeptionellen Ansätzen auf andere Standorte
- Beurteilung der Eignung der Methodik für einen Standortvergleich
- **Identifizierung zukünftigen Forschungsbedarfs zur Endlagerung in Salzstandorten**

* Methodological Approach to a Safety Analysis of Radioactive Waste Disposal in Rock Salt: An Example
Bracke G., Fischer-Appelt K., Progress in Nuclear Energy, 2015 (accepted).

Projektstruktur

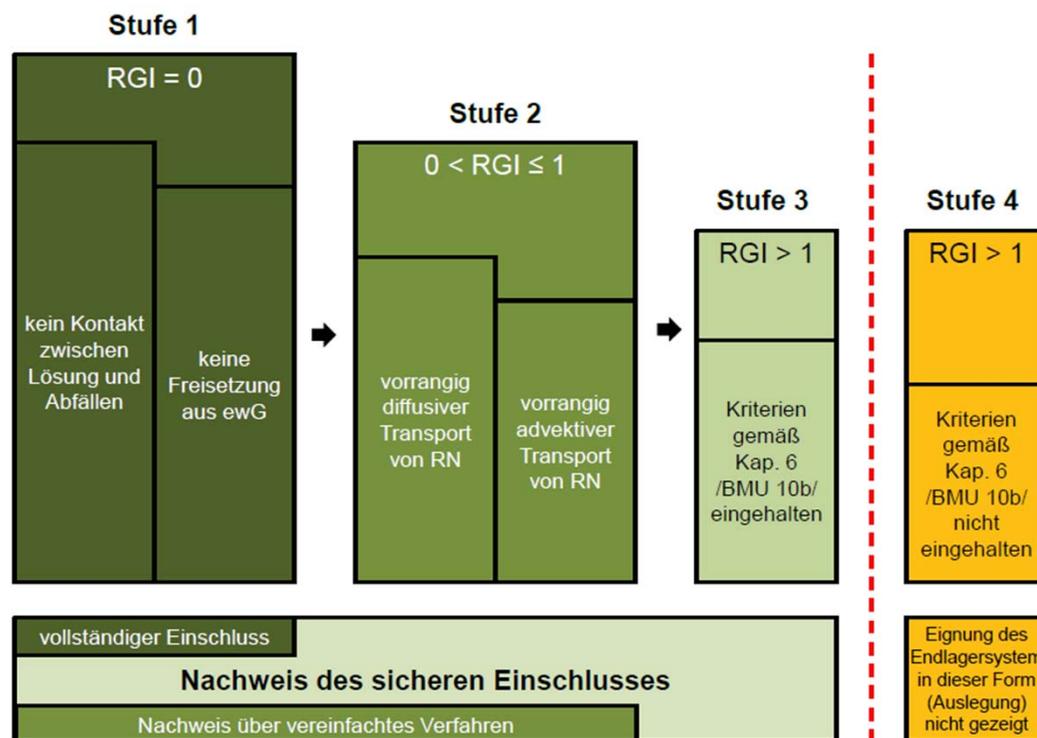
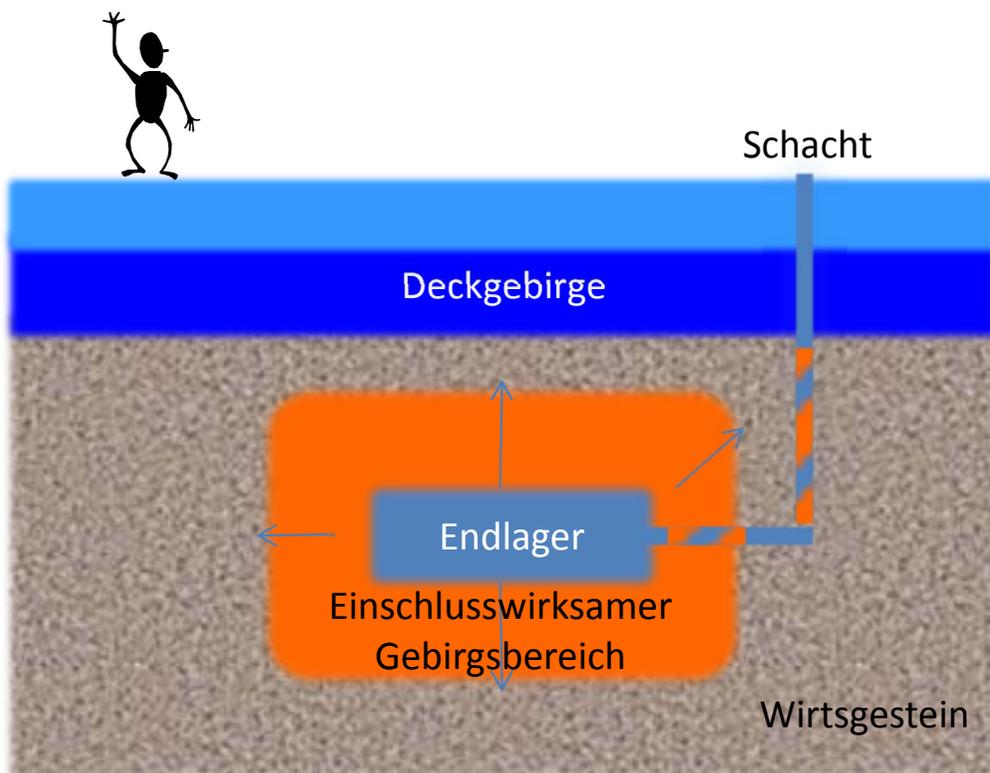


Sicherheits- und Nachweiskonzept

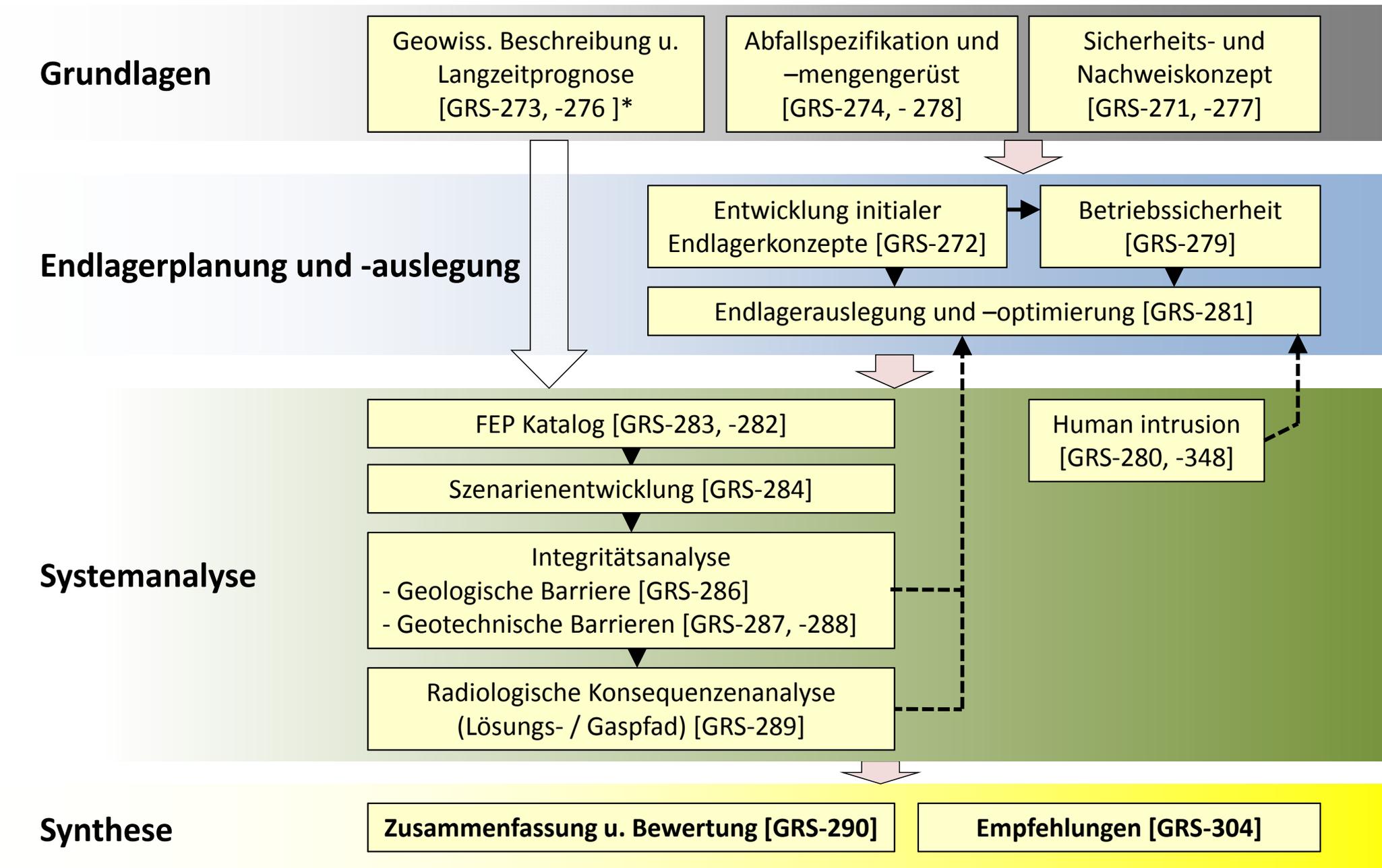
Umsetzung der Sicherheitsanforderungen des BMUB (2010)

Sicherheitskonzept:
Einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit
technischen Barrieren

Nachweiskonzept:
Radiologischer Geringfügigkeitsindex (RGI)
zur Bewertung der Langzeitaussage



Projektstruktur



„Forschungs- und Entwicklungsbedarf“

Was ist wesentlich ?

- **F+E, deren Ergebnisse für nachfolgende Sicherheitsanalysen bzw. für zukünftige Genehmigungsverfahren essentiell sind**
- **F+E für Annahmen und Prämissen, die bei der Bearbeitung der VSG zur „Überbrückung“ aufgestellt mussten**
- **VSG-Ergebnisse stehen unter dem Vorbehalt, dass zukünftige F+E diese Annahmen bestätigen**

Forschungsstand / Forschungs- und Entwicklungsbedarf

1. Geologie
2. Kohlenwasserstoffe im Hauptsalz
3. Behälterkonzepte / Rückholbarkeit / Bergung
4. Einlagerungsbetrieb / Rückholung
5. Verschlussbauwerke
6. Hydraulische und mechanische Eigenschaften von Salzgrusversatz
7. Modellierung sicherheitsrelevanter Prozesse

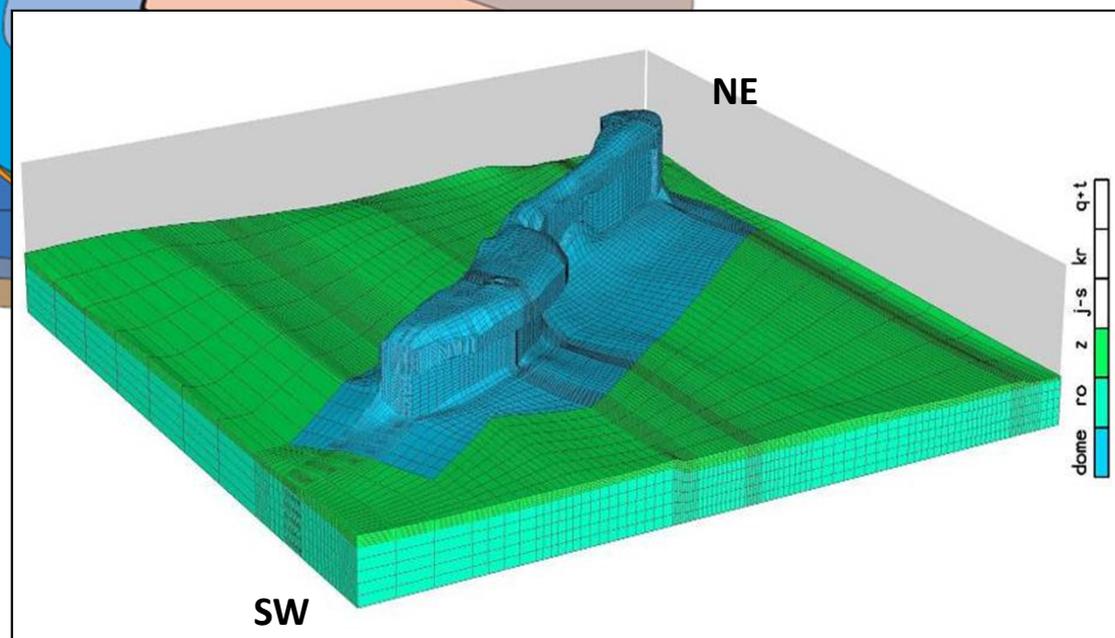
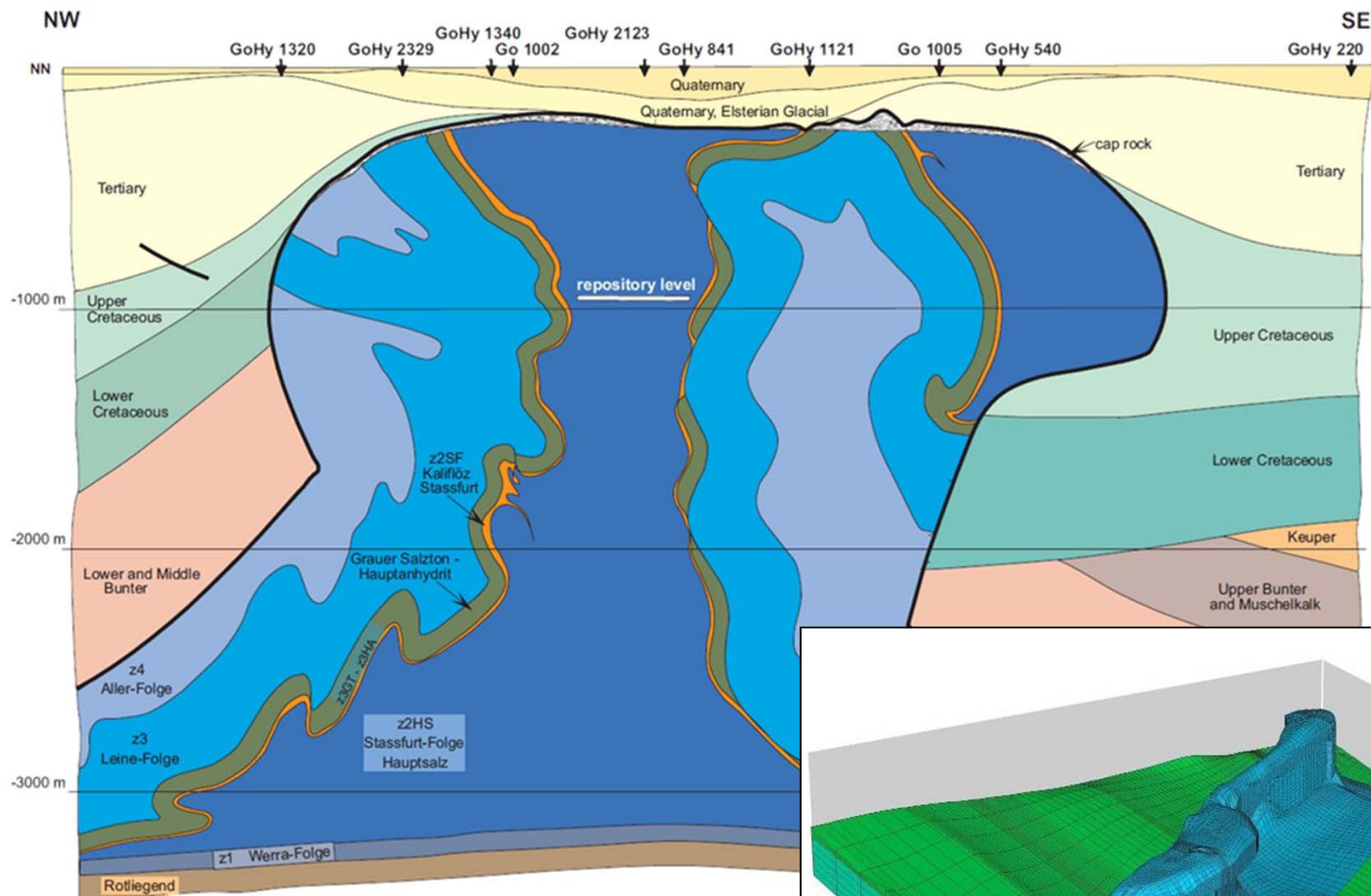
Erkundungsbergwerk Gorleben

Zwischenlager und
Pilotkonditionierungsanlage

Erkundungsbergwerk

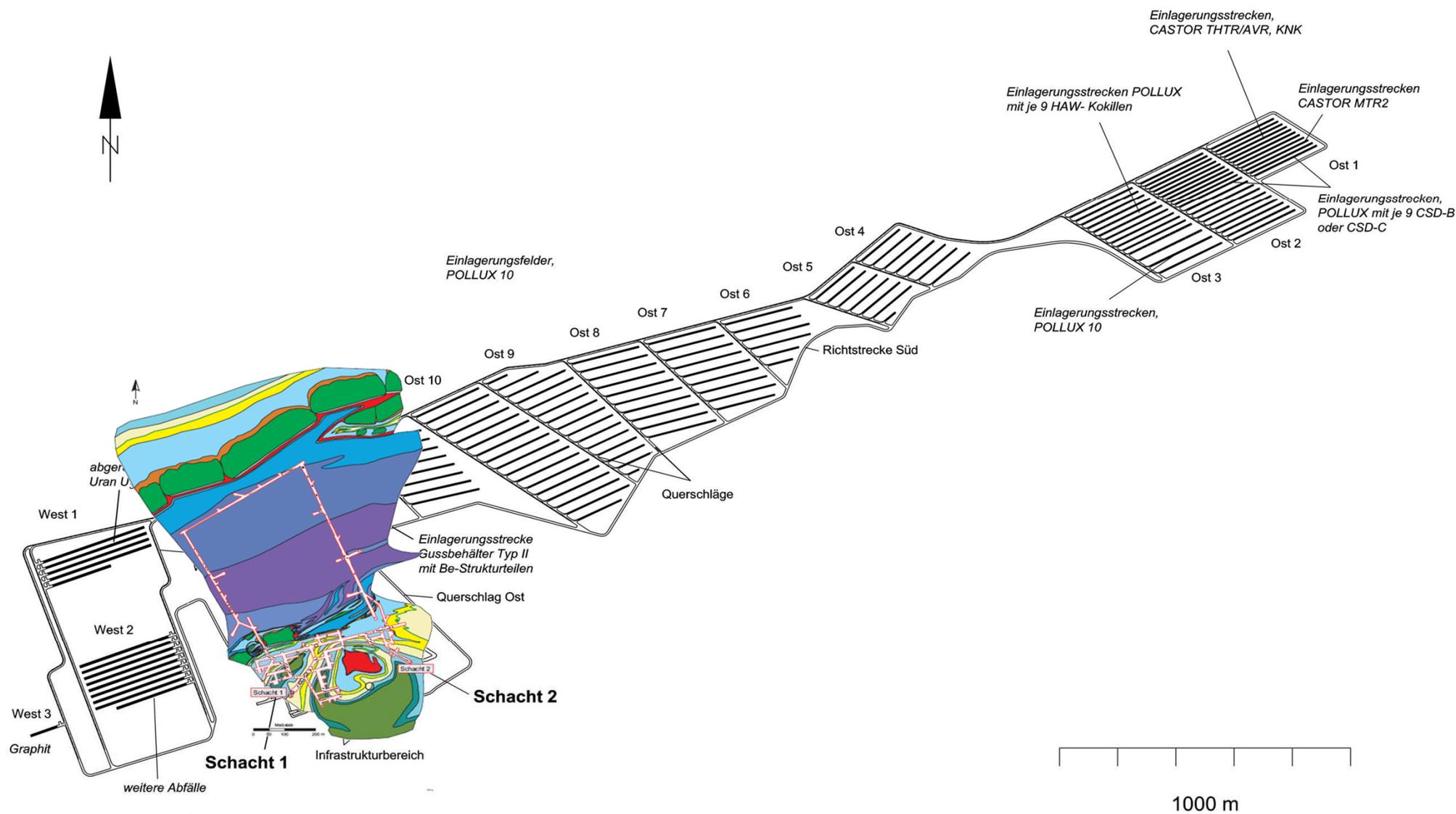


Salzstock Gorleben



- 14 km lang und 4 km breit
- Mehrere Zyklen der Salzbildung im Zechstein (z2, z3 und z4)
- Basis des Zechsteins liegt 3.1 – 3.3 km tief

F+E Endlagerkonzept Gorleben



Einlagerungsfelder für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung
West 1, West 2 und West 3

Kohlenwasserstoffvorkommen (KW) im Hauptsalz

Ungleichmäßige
Verteilung,
interkristallin

Herkunft:
Stäufurt-Karbonat /
Kupferschiefer

Sicherheitstechnisch
kein offensichtliches
Ausschlusskriterium

Bis zu
40 - 250 ml/m³

Literatur

- Weber et al., Empfehlungen der BGR zur Berücksichtigung der Kohlenwasserstoffvorkommen im Hauptsalz des Salzstockes Gorleben im Rahmen der VSG, Hannover, 2011
- GRS-285
- Untersuchungen von Kohlenwasserstoffen im Erkundungsbergwerk Gorleben, Zwischenberichte, BGR, Hannover, 2012

Hintergrundbild: Stefan Weber 

F+E Mineralogie

- **Strukturgeologische Modelle zu Genese, Transport und Mobilität von KW in Salzstöcken**
- **Mikrostrukturuntersuchungen zur Verteilung und Mobilität von Fluiden im Intergranularraum von Kernproben (z. B. Kryo-SEM oder ortsauflösende Spurenanalytik)**
- **Porendruckbestimmungen an Fluideinschlüssen**
- **Geophysikalische Messverfahren zur zerstörungsfreien Detektion und Quantifizierung von KW im Salzgebirge**

F+E Geomechanik*

- **Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Salzgesteine (Kriechverfestigung bzw. Entfestigung sowie Porendruckeffekte)**
- **Modellrechnungen (Mikro-/Feldmaßstab) zu den Konsequenzen möglicher Volumenveränderungen bei einer thermochemischen (oder mikrobiellen) Sulfatreduktion (TSR) sowie lokaler Porendruckeffekte auf die Spannungsverhältnisse im Salzstock**

F+E Geochemie

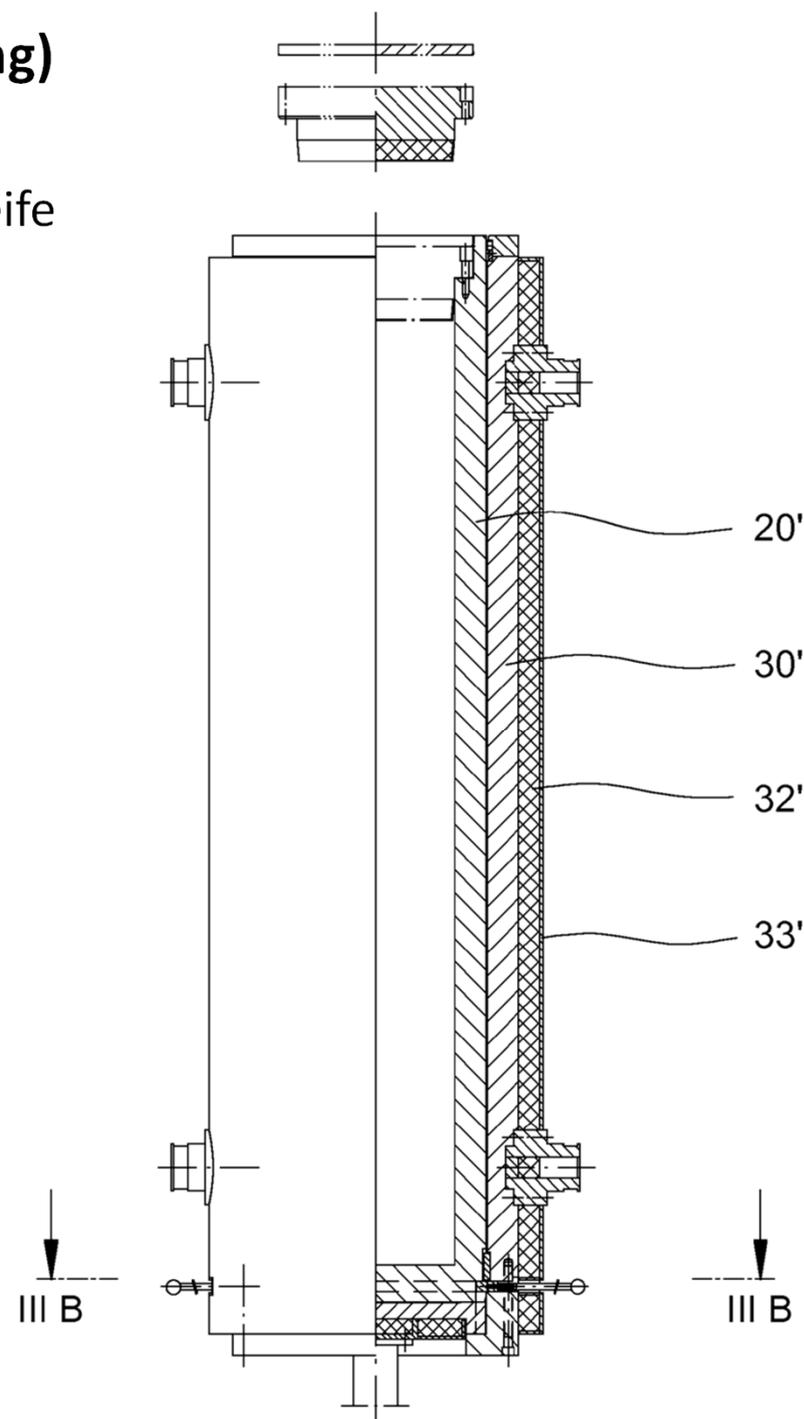
- qualitative und quantitative Abschätzung der Stoffumsätze und deren Kinetik
→ Potential für geomechanische Wechselwirkungen
(z. B. thermische Expansion/Fluidruckanstieg)
- Untersuchung der komplexierenden Wirkungen von KW-Degradationsprodukten sowohl organischer als auch anorganischer Art auf Radionuklide
→ Quellterm
 - Korrosion von Abfallbehältern / Veränderung des geochemischen Milieus
→ Wasserfreisetzung/Gasbildung
 - Modellentwicklung zur Quantifizierung von Stoffumsätzen z. B. TSR
→ Wasserfreisetzung/Gasbildung

➤ Ableitung von quantitativen Kriterien

F+E Behälterkonzepte und Rückholbarkeit (Bergung)

Weiterentwicklung der Behälter bis zur Genehmigungsreife

- Konzeption, Auslegung und Fertigung
- Demonstrationsversuche
- Rückholbarkeit unter Praxisbedingungen

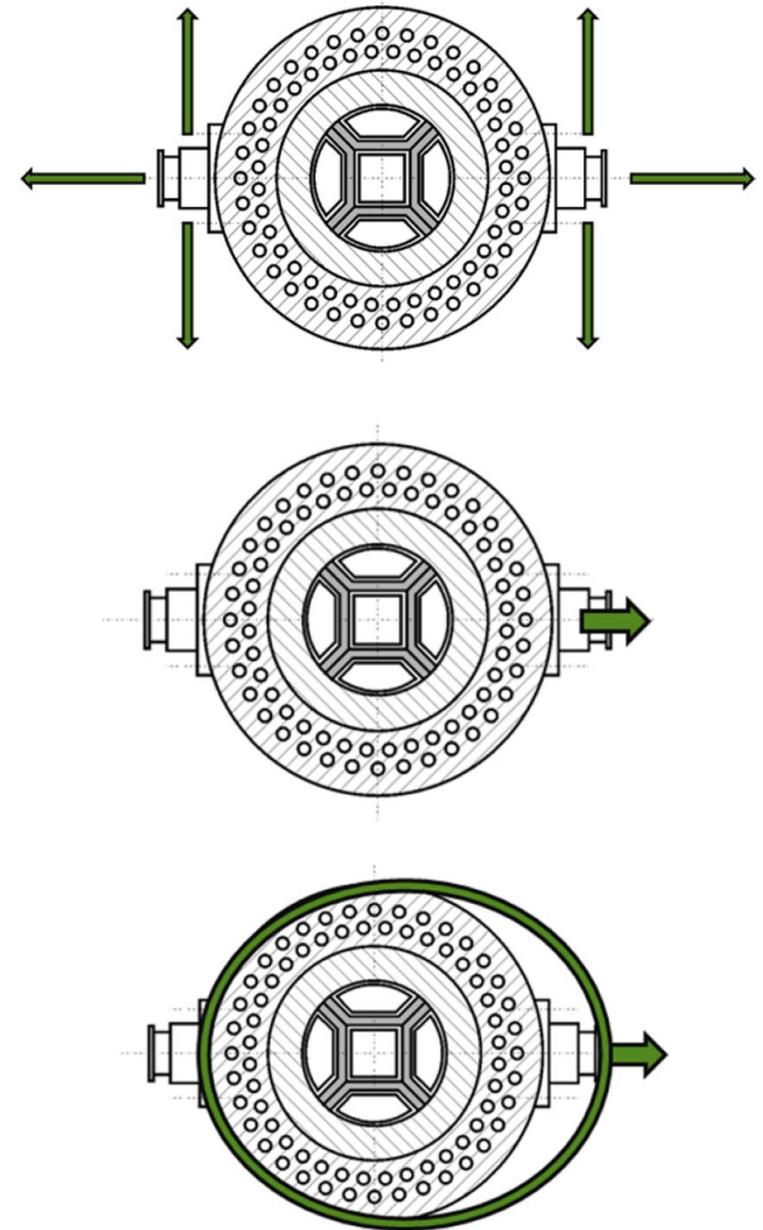


F+E Nachweis der Rückholbarkeit im Sinne von BMU (2010)

- Vermeidung der Aerosolfreisetzung
- Stabilität (Behälter, Bohrlochverrohrung)
- Korrosion
- Versprödung
- Zugkräfte

Nachweis für das Genehmigungsverfahren ?

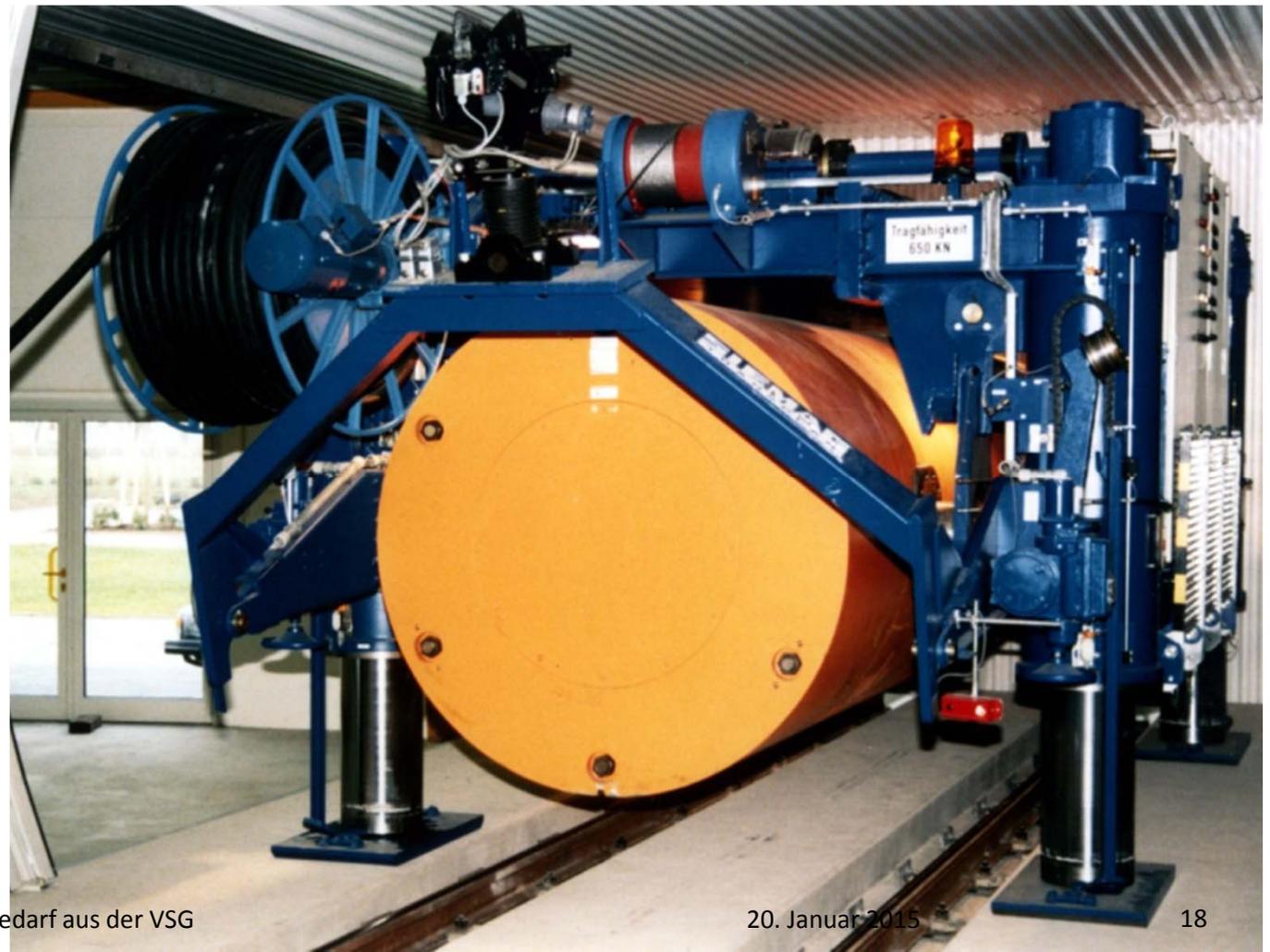
Zeitraum: 500 Jahre nach Verschluss (Bergbarkeit)



F+E Einlagerungsbetrieb POLLUX

Sicherheit und Zuverlässigkeit gezeigt für Streckenlagerung:

- Transport (Schacht und Strecke)
- Einlagerung



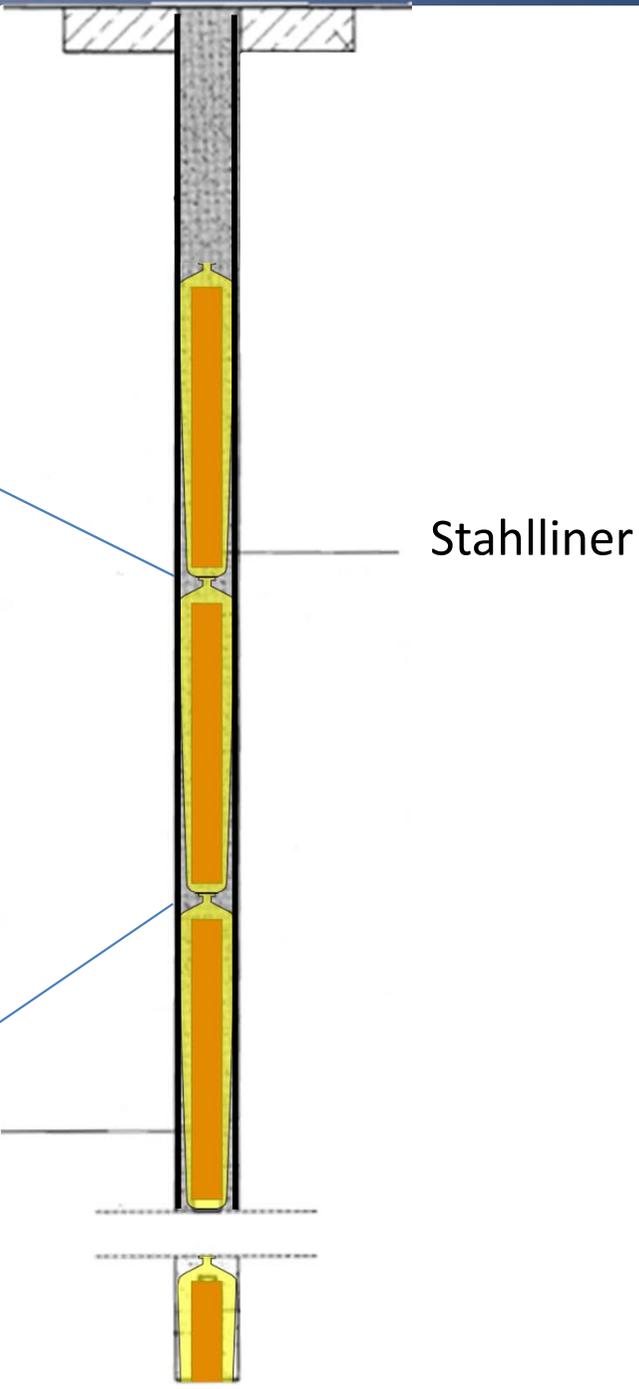
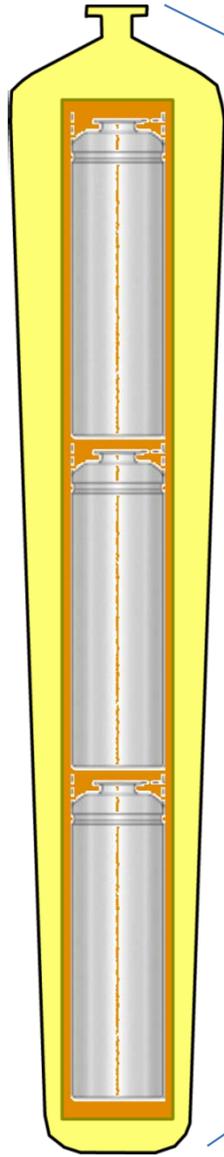
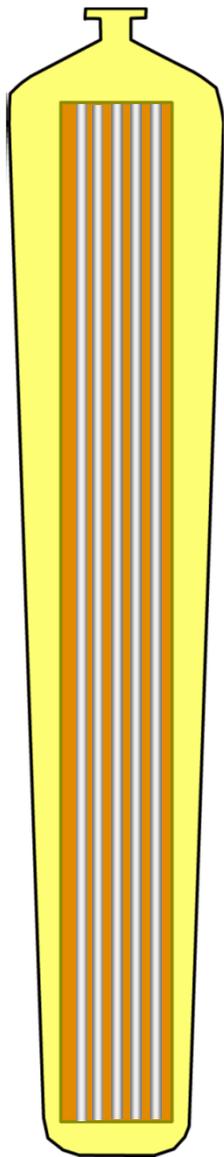
F+E Einlagerungsbetrieb CASTOR

Direkte Einlagerung nur konzeptionell

- Entwicklung von Schachtförderanlagen für ca. 160 Mg schwere Lasten
- Machbarkeit des innerbetrieblichen Transports und Einlagerung unter Bergbaubedingungen
- Demonstration der Rückholbarkeit während der Betriebsphase



Konzept für Kokillen in tiefen Bohrlöchern

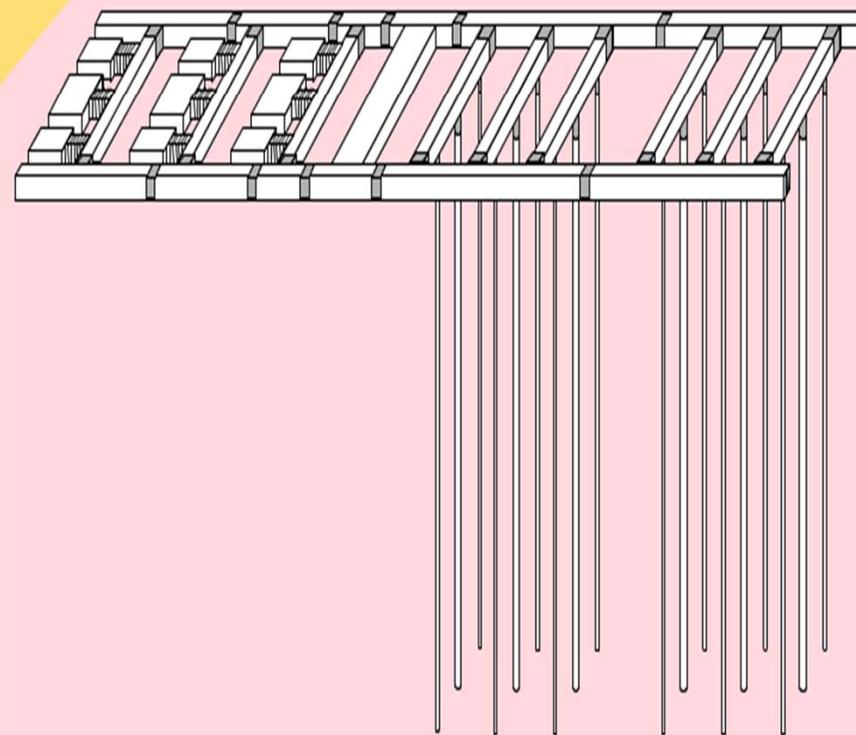
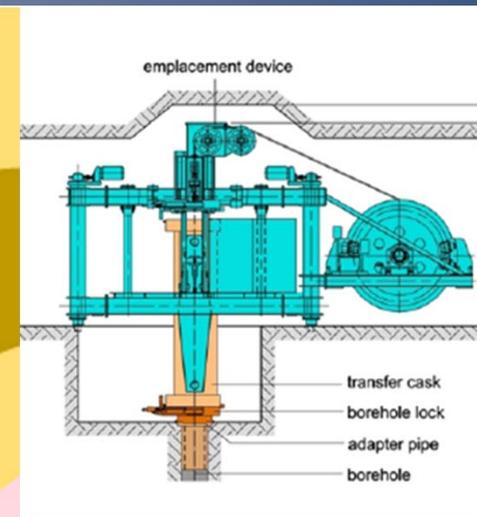


Einlagerung in tiefen Bohrlöchern (ca. 300 m)

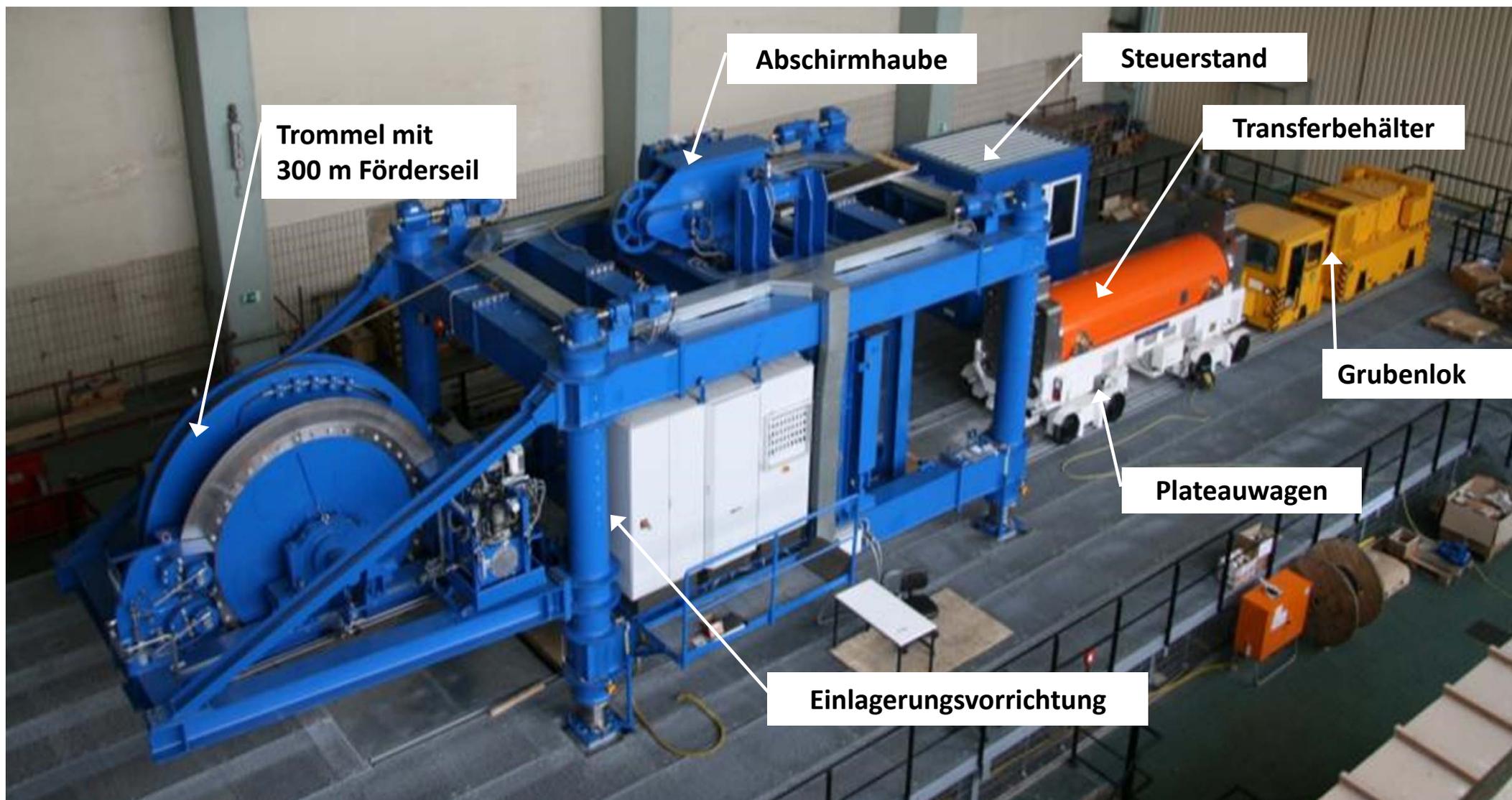
Konzept vorhanden !

aber:

- Machbarkeit und Genehmigungsfähigkeit
- Ableitung von technischen Anforderungen (z. B. Präzision der Bohrlochausführung)
- Erprobung und Demonstration der Umsetzbarkeit

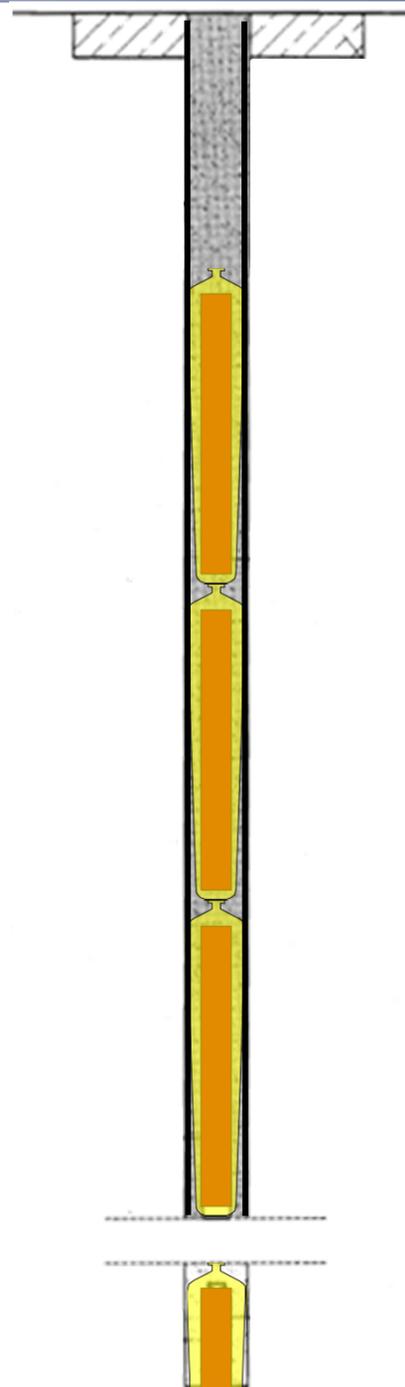


Einlagerung und Rückholung für Kokillen in tiefen Bohrlöchern



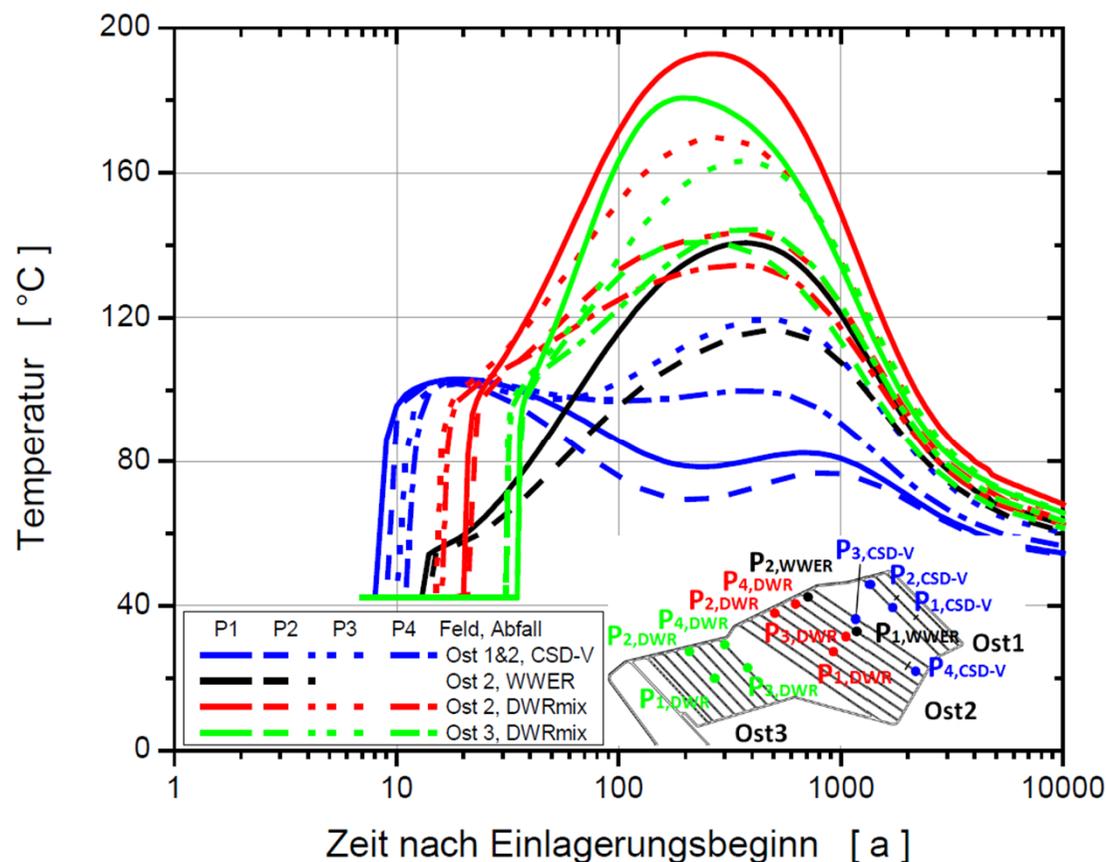
F+ E Bohrlochlagerung - Beispiele

- Machbarkeit der Handhabungsvorgänge zum Freilegen und Lösen der Kokille (Absaugen, Rütteln etc.)
- Ist initialer Konzeptansatz (Quarzsand) weiter optimierbar ?
- Eigenschaften der Ringspaltverfüllung (thermische Anbindung, Rieselfähigkeit)



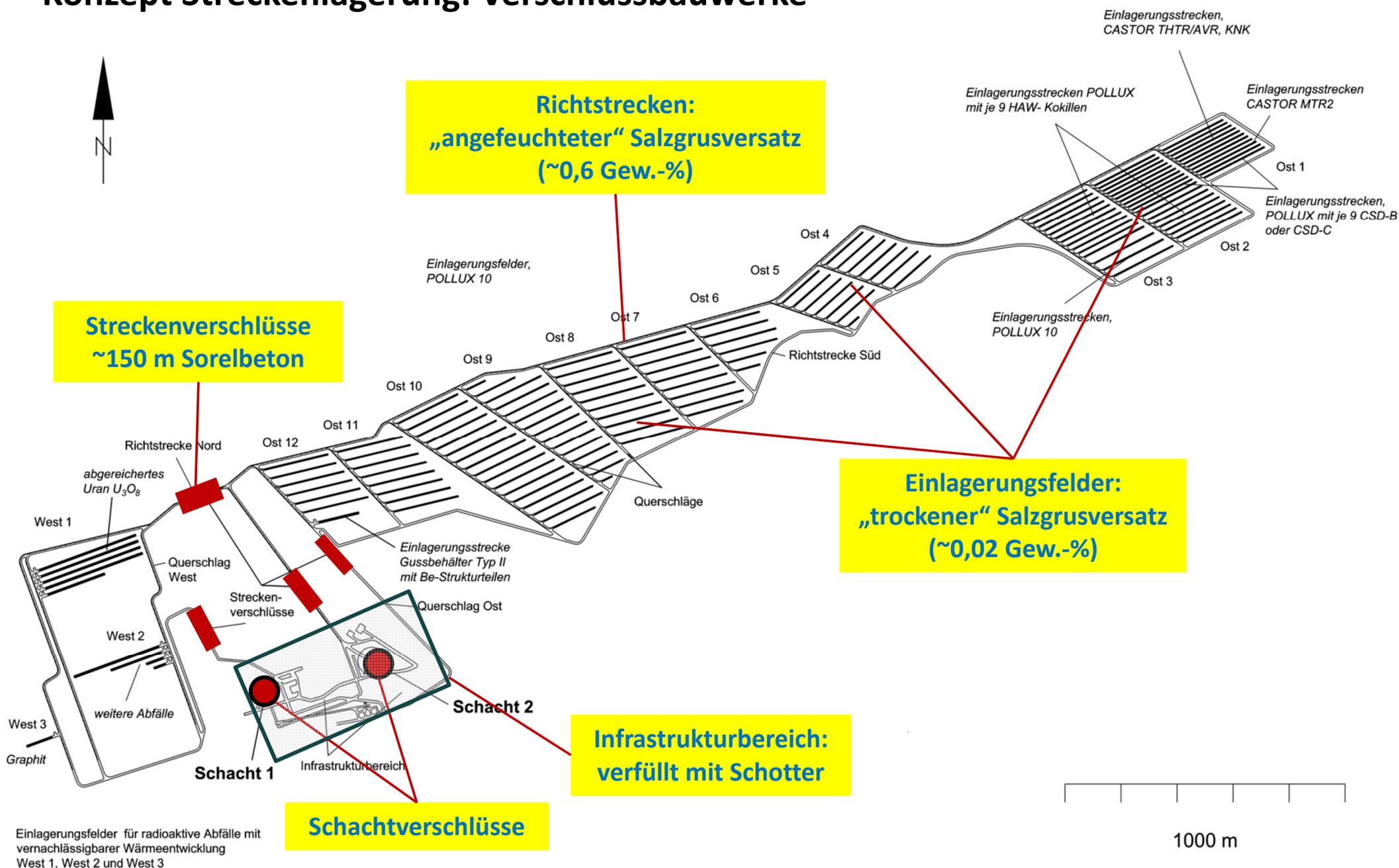
F+E Rückholungsbetrieb

- Vertiefte Planung
- Nachweis der Realisierbarkeit
(Arbeitsbedingungen: Temperaturen, Strahlenschutz, Notfallplanung, Zeitbedarf)
- Konditionierungsanlage bei Rückholung, Reparaturmöglichkeit
- Lagermöglichkeiten



Bsp. Bohrlochlagerung

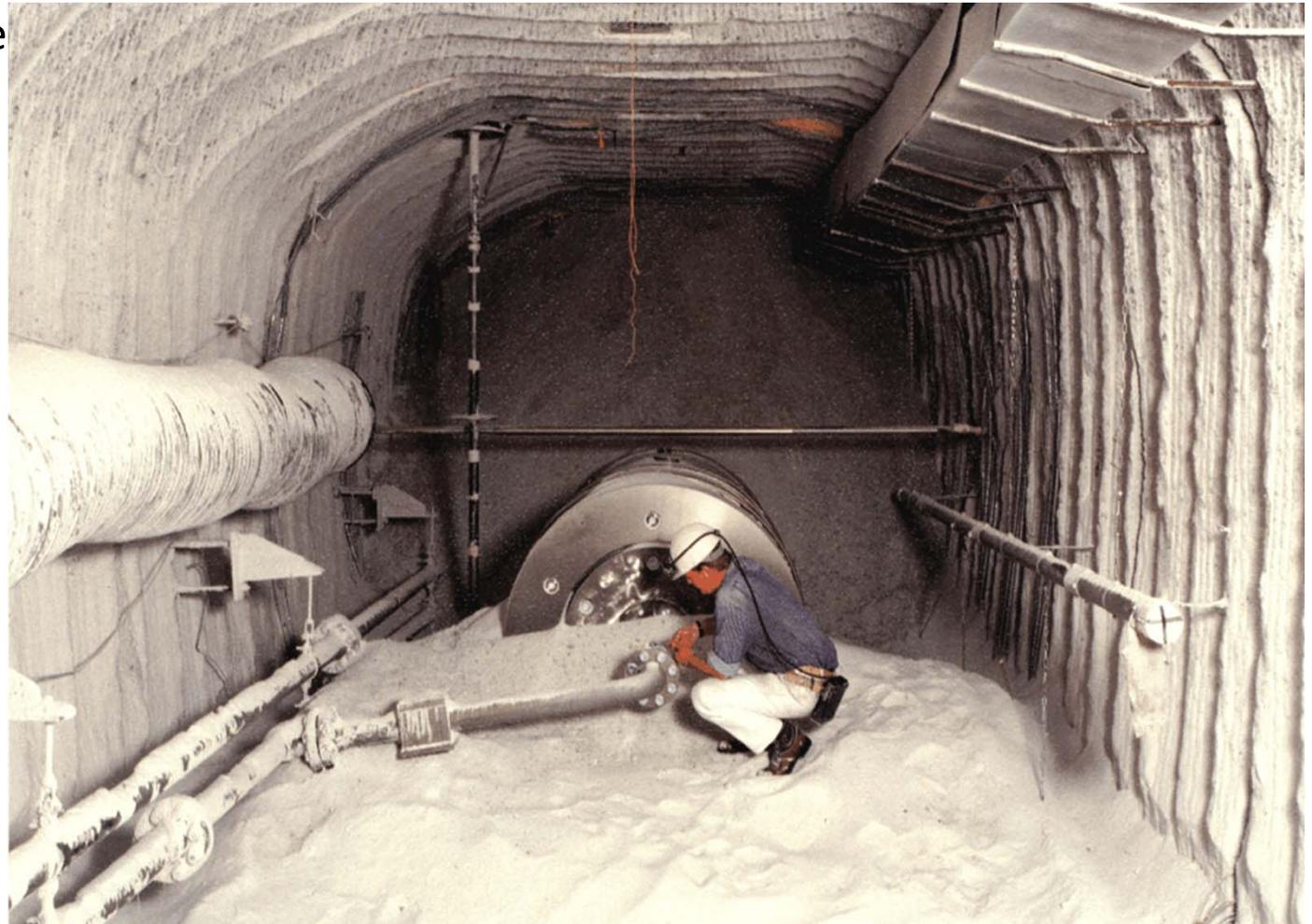
Konzept Streckenlagerung: Verschlussbauwerke



Salzgrusversatz

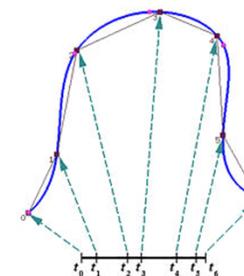
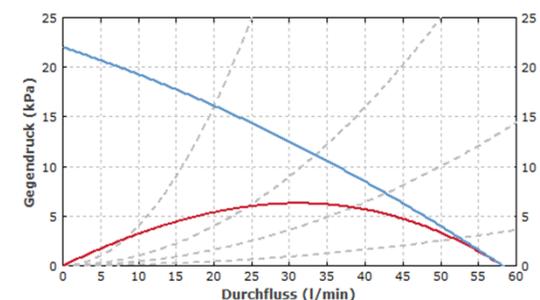
Hydraulische und mechanische Eigenschaften wichtig

- Langfristiger Einschluss
- Sicherheitsrelevanz



F+E Salzgrusversatz*

- **Zeitbedarf** bis zu einer hydraulisch vernachlässigbaren Restporosität
(Feuchtegehalt, Temperatur, Gebirgsdruck)
- **Hydraulische** Eigenschaften bei weitgehender Kompaktion und sehr geringem Lösungsangebot
(Einschluss der Versatzfeuchte, Quantifizierung der Diffusivität, Wärmeleitfähigkeit)
- Quantifizierung von **Zweiphasenflussparametern** für verschiedene Feuchtegehalte
(Permeabilität, Kapillardrücke, Diffusionskoeffizienten, welches Modell des Zweiphasenfluss bei geringen Restporositäten)
- **Versatztechnik** für angefeuchteten Salzgrus
(technisches Verfahren für homogene aber geringe Durchfeuchtung, Weiterentwicklung / Erprobung / Optimierung von Einbringverfahren)



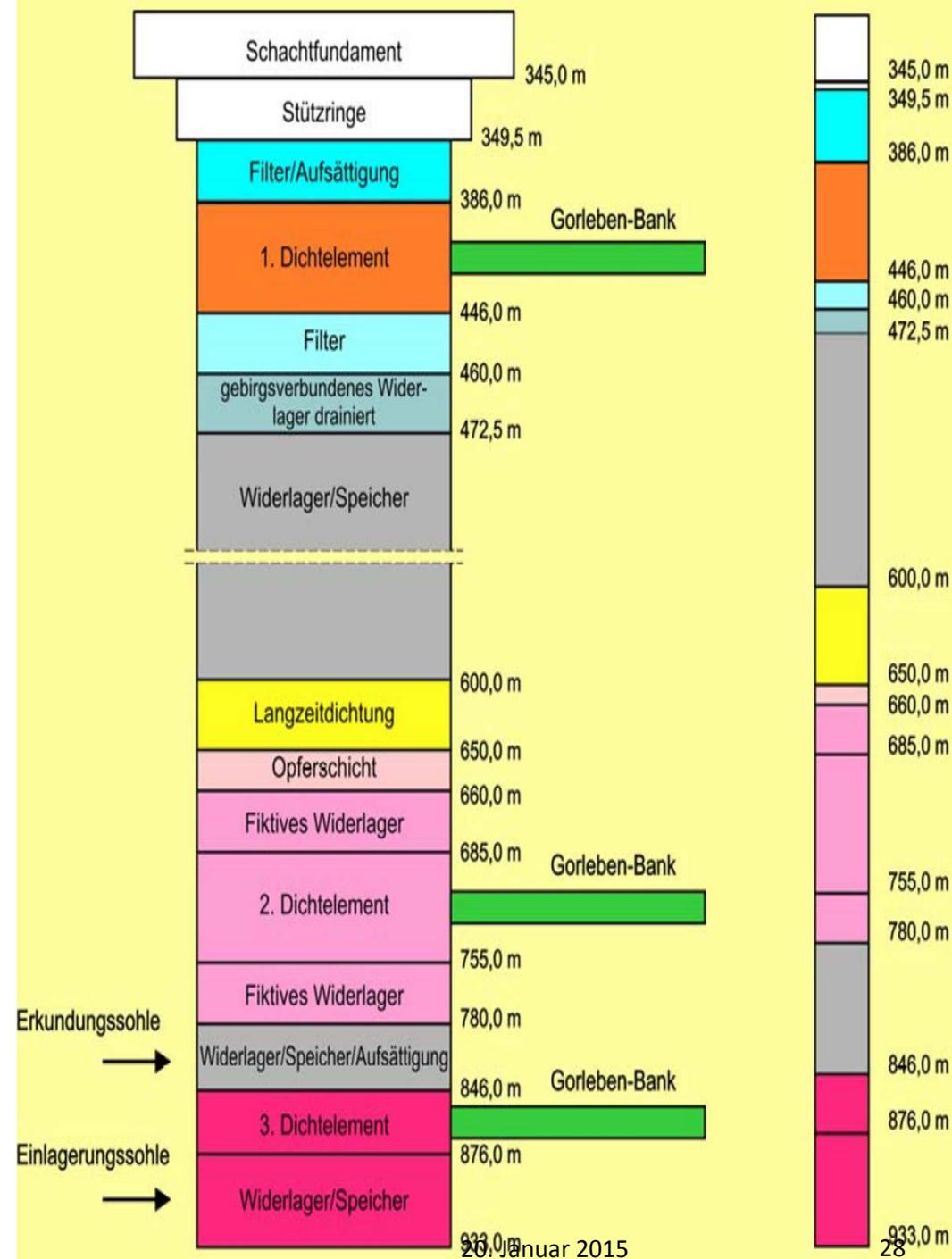
F+E Verschlussbauwerke*

In-situ Versuche zur Funktionstüchtigkeit und Machbarkeit
(Komplexizität / Prozesse)

- hydraulische und chemische Eigenschaften der Kontaktzonen
- geochemische Wechselwirkungen zwischen Betonausbau und Bentonit-Dichtelementen
- Lösungspotential erwärmter Salzlösungen bei Temperaturerhöhungen durch Zementabbinden

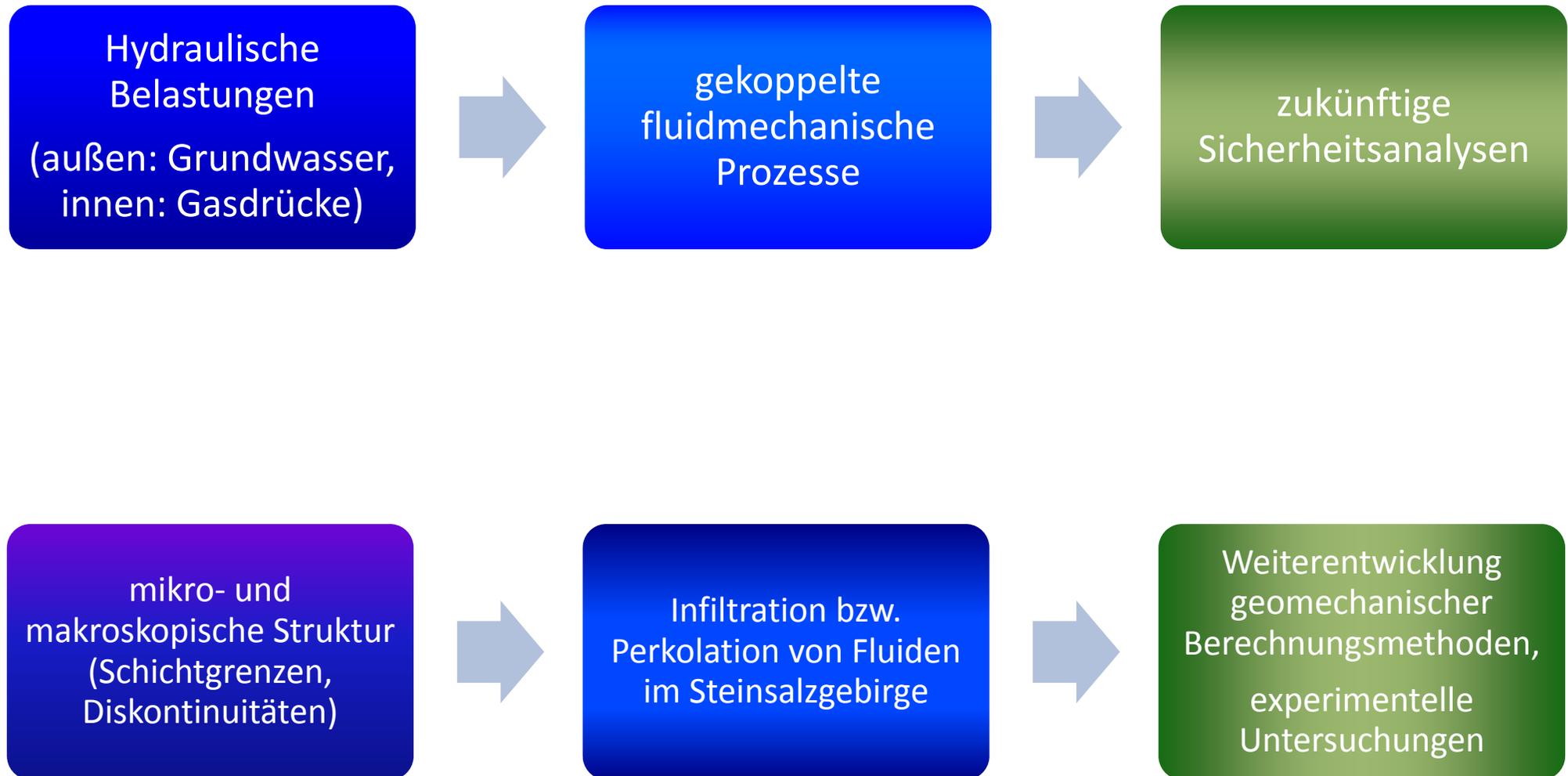
* GRS-287, GRS-288

Wirtsgestein Steinsalz: Forschungsstand und Forschungsbedarf aus der VSG



Sicherheitsrelevante Prozesse

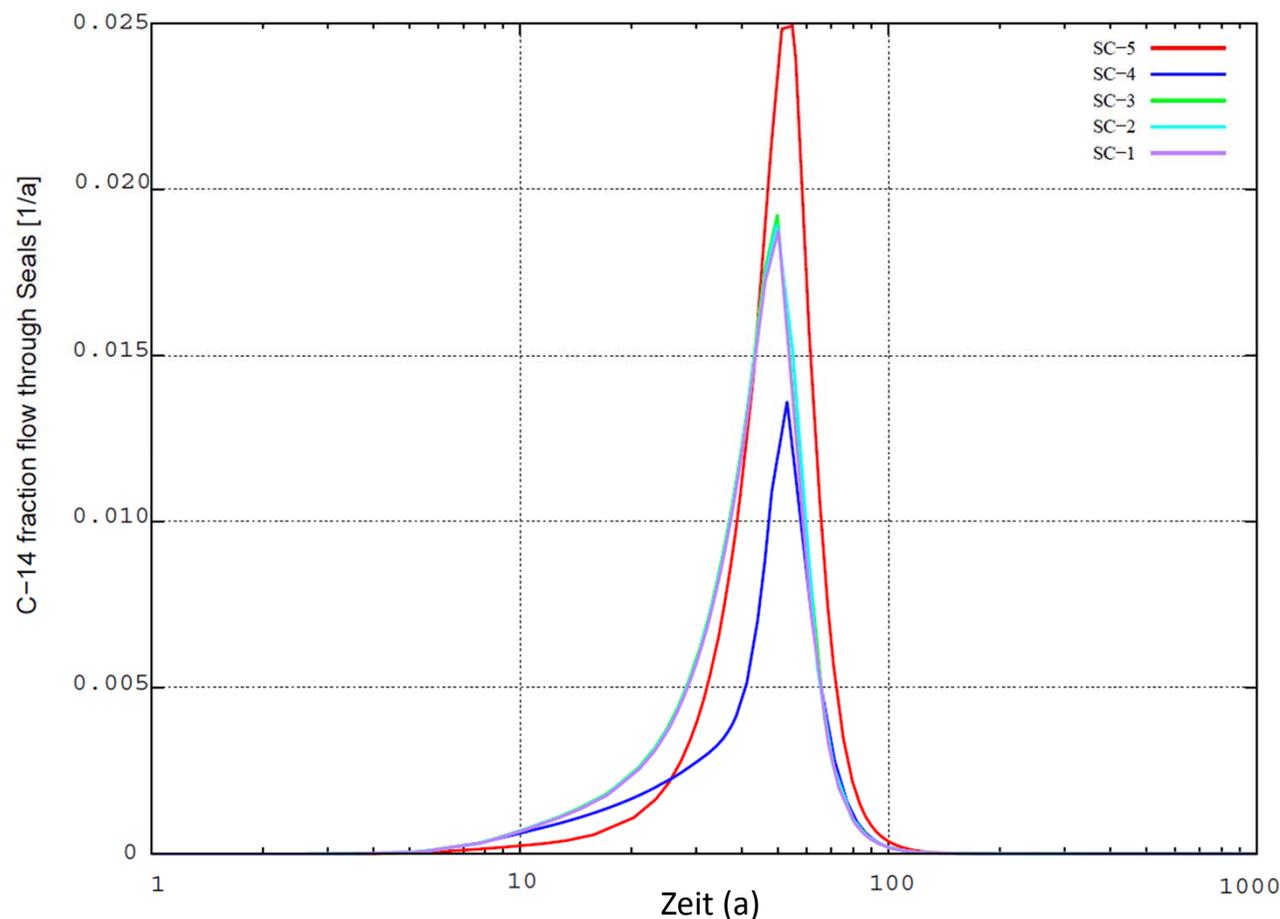
F+E Geologische Barriere



F+E Konsequenzenanalyse (Beispiel)



- Weiterentwicklung der Quelltermbeschreibung für Radionuklide
- THMC-Prozesse u. Modellierung



Zusammenfassung

- Systematische Identifikation des verbleibenden F+E Bedarfs für Salzstandorte
- Details in allen Berichten zur VSG (www.grs.de)
- Zusammenfassung in GRS-290 und GRS-304

Wesentliche Annahmen und Prämissen (→ F+E Bedarf)

- Teilerkundung des Salzstocks Gorleben
- Machbarkeit technischer Maßnahmen (generell)
- Sicherheitsrelevante Prozesse (generell)

Schlussfolgerungen

- Systematische Optimierung und Vergleich von Endlagerkonzepten erforderlich
- Notwendigkeit von In-situ- und Laboruntersuchungen
- Erfordernis von untertägigen Erkundungsarbeiten
- Abbau von Ungewissheiten (VSG → WSG)