# Endlagerkonzepte in Ton/Tonstein/Kristallin:

Forschungsstand und Forschungsbedarf

Wilhelm Bollingerfehr

DBE TECHNOLOGY GmbH
Peine

ESK Workshop zur deutschen Endlagerforschung
Bonn
20. Januar 2015

1



#### Inhaltsübersicht =

- Stand der Entwicklung von Endlagerkonzepten/-techniken für ein HAW-Endlager in *Tonstein* und *Kristallin* sowie erkannter FuE-Bedarf
  - Konzeption und Auslegung eines Endlagerbergwerkes
  - Technik und Logistik zur Herstellung / Ausbau von Grubenräumen
  - Technik zum Transport und zur Einlagerung von Endlagerbehältern
  - Verfüll- und Verschlusskonzepte und -techniken
  - Konzept und Technik zur Rückholung



# Wesentliche Grundlagen für Konzeptfindung:

# 1. Art und Menge des endzulagernden Inventars

 relativ präzise erfasst (VSG-Daten: Abfallmengengerüst; BfS-Abfalldatenerhebung, ggf. weitere Abfälle gemäß NaPro (BMUB))

# 2. Beschreibung der geologischen Gesamtsituation

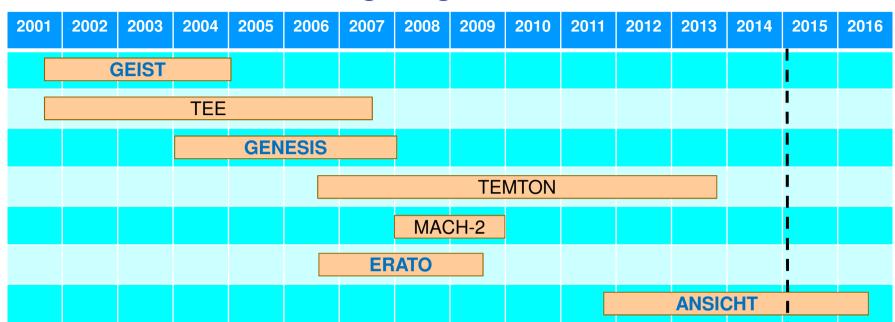
 Verbreitungsgebiete von Ton- und Kristallinvorkommen in Deutschland bekannt (Ton- und Kristallin-Studie der BGR)

# 3. Sicherheits- und Sicherheitsnachweiskonzept

- d.h.: methodischer Ansatz, wie die Sicherheit in einem Endlager hergestellt und nachgewiesen werden soll
  - Methodischer Ansatz (Konzept des sicheren Einschlusses) i.R. des FuE-Vorhabens ISIBEL entwickelt
  - konkrete und erfolgreiche Anwendung bei der VSG (für Salz)
  - Übertragbarkeit auf Endlager im Wirtsgestein Ton i. R. des FuE-Vorhabens ANSICHT in Arbeit
  - für Kristallin bisher dazu keine konkreten Überlegungen



# **F&E-Vorhaben zur Endlagerung im Tonstein**



# FuE-Vorhaben zur Konzeptentwicklung für ein HAW-Endlager in Ton:

| GEIST          | Vergleich von Endlagerkonzepten in Salz und Ton   |
|----------------|---|
| TEE            | Beteiligung an in-situ Versuchen in den Untertagelaboratorien (URL) Bure, Frankreich und Mt. Terri, Schweiz |
| <b>GENESIS</b> | Endlagerauslegung für ein generisches Endlager im Tonstein in Nord- und Süd-Deutschland                     |
| <b>TEMTON</b>  | Untersuchung thermo-hydro-mechanischer Effekte im Tonstein (Beteiligung in Bure und Mt. Terri)              |
| MACH-2         | Machbarkeitsstudie für einen in-situ Versuch in Mt. Terri (THM-Simulationen)                                |
| <b>ERATO</b>   | Entwicklung eines deutschen Referenzkonzeptes für ein Endlager im Tonstein                                  |
| <b>ANSICHT</b> | Entwicklung einer Methode für den Nachweis des sicheren Einschlusses im Tonstein in Deutschland             |



# Endlagerkonzeptentwicklung =

# **Stand der Forschung und Entwicklung:**

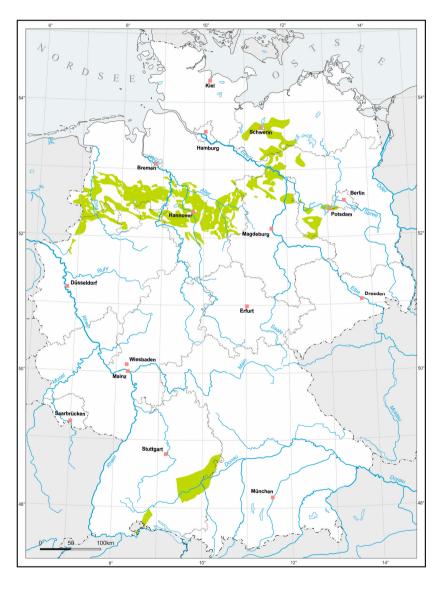
repräsentiert im FuE-Vorhaben ANSICHT(Gemeinschaftsprojekt von BGR, DBE TECHNOLOGY und GRS)

# Randbedingungen:

- Grundlage waren Ergebnisse bisheriger FuE-Vorhaben
  - > für das technisches Konzept: GEIST; GENESIS und ERATO
  - für das Sicherheitskonzept: ISIBEL und VSG
- Modellhafte Standortdaten (Basis: BGR-Studien)
- Thermisches Auslegungskriterium:
  - ➤ T<sub>max</sub> = 150°C (Kontakt Endlagerbehälter/geotechnische Barriere)
- Geotechnische Nahfeldbarriere am Endlagerbehälter



### **Modellhafte Standortdaten**



Basis: Regionale Tonstudie der BGR (2007) untersuchungswürdige Tongesteinsformationen in Deutschland (Hoth et al. 2007)

#### Auswahlkriterien:

Gebirgsdurchlässigkeit: kleiner 10<sup>-10</sup> m/s

Tiefenlage: 300 bis 1000 m

Ausdehnung: größer 10 km²

Mächtigkeit: größer 100 m

- Weitere Kriterien: Untergrundnutzung, Störungshäufigkeit, Neigung
- Ausschlusskriterien: Vulkanismus, Erdbeben, aktive Störungszonen

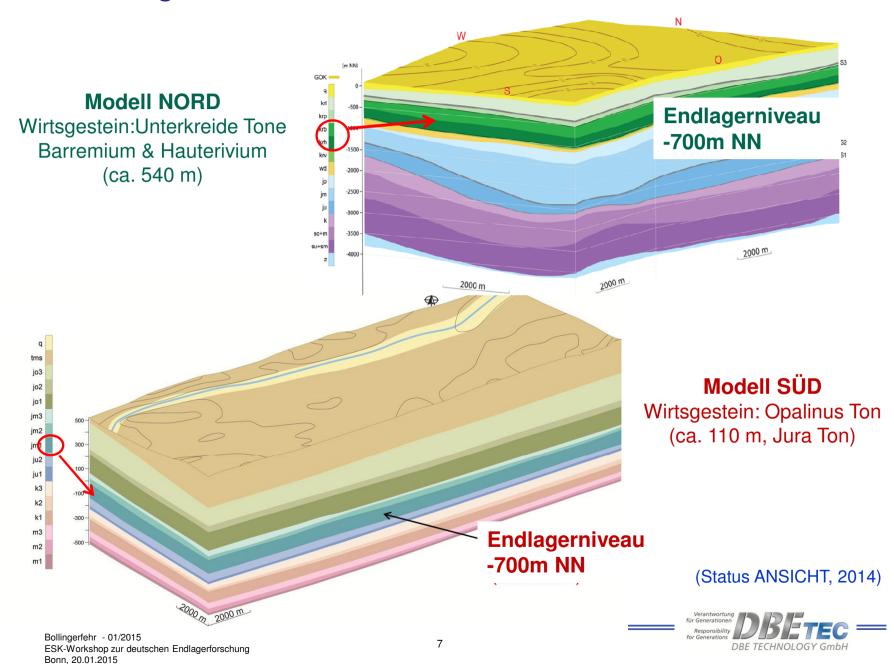
#### **Neue Anforderungen in ANSICHT:**

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

(Status ANSICHT, 2014)



# **Modellregionen**



# **Sicherheitskonzept**

# Sicherheitsanforderungen des BMU (2010)

Nachsorgefreier Einschluss der RN im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

Geringfügige Freisetzungen von RN am Rand des ewG

Ansatz in ANSICHT

# Prinzip: Einschluss der Radionuklide durch Behinderung des Schadstofftransportes

Begrenzung des advektiven und diffusiven Stofftransportes

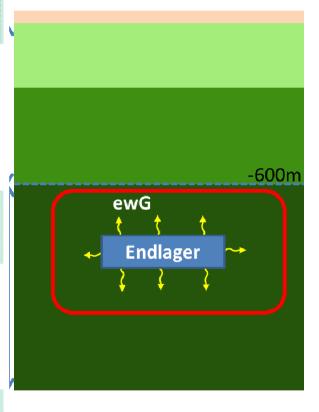
Wiederherstellung der ursprünglichen geringen Permeabilität im ew<u>G</u>



# **Einschluss / Rückhaltung durch**

Wirtsgestein: geringe Permeabilität, Sorption, Plastizität ewG:

Integrität über den Nachweiszeitraum Verschlussbauwerke

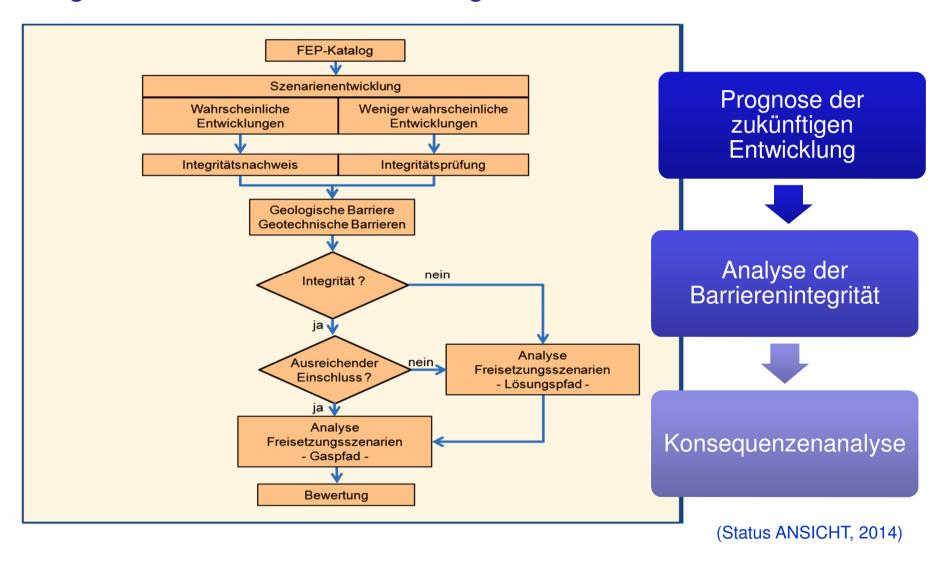


(Status ANSICHT, 2014)



# **Sicherheitsnachweiskonzept**

# Vorgehen bei der Sicherheitsbewertung eines Tonstandortes



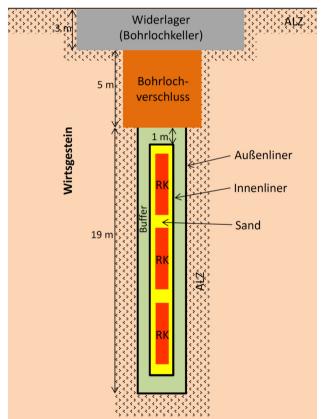


# Konzeptentwicklung im FuE-Vorhaben ANSICHT =

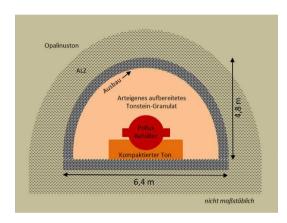
# Konzeptauswahl angepasst an geologische Randbedingungen

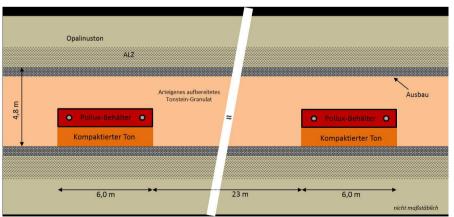
# Bohrlochlagerungskonzept für Standortmodell NORD





# Streckenlagerungskonzept für Standortmodell SÜD





(Status ANSICHT, 2014)

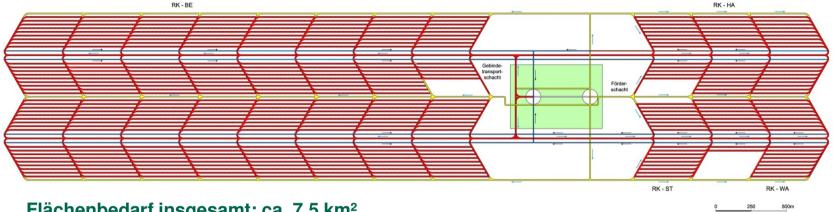


# **—** Grubengebäudeplanung

# Modell Nord: Bohrlochlagerungskonzept (für ca. 540m Tonschicht)

32 Felder mit je 9 Strecken á 13 Bohrlöcher für ausg. BE.

12 Felder mit je 9 Strecken á 13 Bohrlöcher für WA

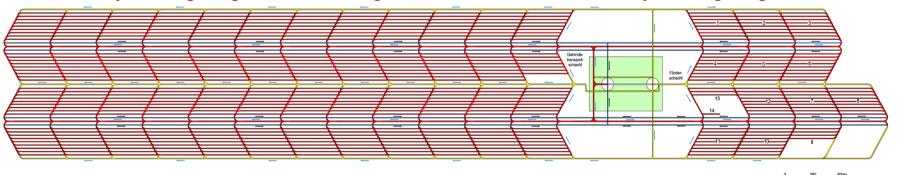


Flächenbedarf insgesamt: ca. 7,5 km<sup>2</sup>

### Modell Süd: Streckenlagerungskonzept (für ca. 110m Tonschicht)

48 Felder mit je 9 Einlagerungsstrecken für ausg. BE;

13 Felder mit je 9 Einlagerungsstrecken für WA



Flächenbedarf insgesamt: ca. 11 km<sup>2</sup>

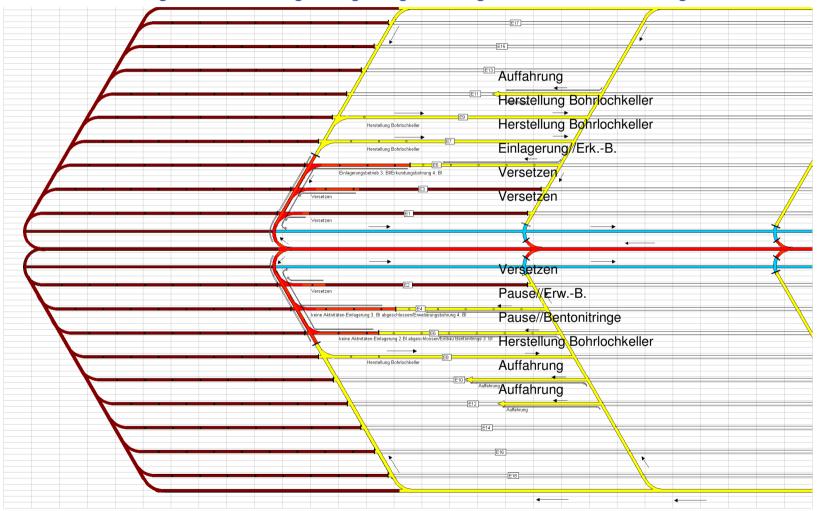
BE = Brennelemente (Status ANSICHT, 2014) WA = Wiederaufarbeitungsabfälle

DBE TECHNOLOGY GmbH

# Grubengebäudeplanung

#### Planung betrieblicher Abläufe: Einlagerungsfortschritt 1 Brennstabkokille pro 2 Arbeitstage –

Erkundung und Herstellung Einlagerungsbohrung u. Einbau Bentonit-Ringe in 3 Strecken



13 Betriebspunkte in 12 Strecken



\_\_\_ Technik: Herstellung Grubenräume =

Streckenauffahrung: Querschnittsform: bogenförmig

#### Stand der Technik:

- Auffahrung: maschinell mit TSM (Teilschnittmaschine)
- Alternativ: Vollquerschnitt mit Tunnelbohrmaschine)



z.B.: MT 300 (Fa. Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH)



# \_\_\_\_ Technik: Herstellung Bohrlochkeller \_\_\_\_\_

### **Stand der Technik:**

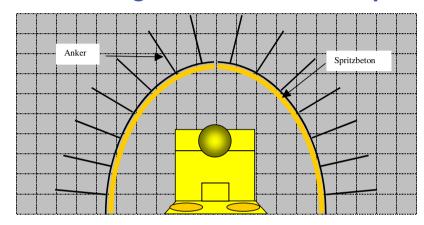
#### Kettenschrämmaschine - Korfmann Schrämmaschine HSTK 60 NS





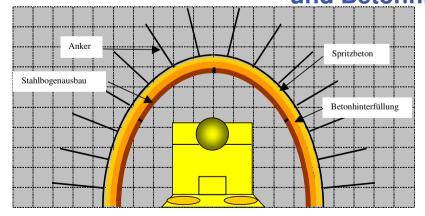
## **Stand der Technik:**

für kurzlebige Strecken: Anker-Spritzbeton-Ausbau





# für langlebige Strecken: Anker-Spritzbeton-Ausbau mit Stahlbogenausbau und Betonhinterfüllung







# \_\_\_ Technik: Ausbau Grubenräume =

#### Stand der Technik:

z.B. Spritzbetonmanipulator Meyco Oruga



# z. B. Ausbaumanipulator GTA



z. B. Ausbaubühne GTA





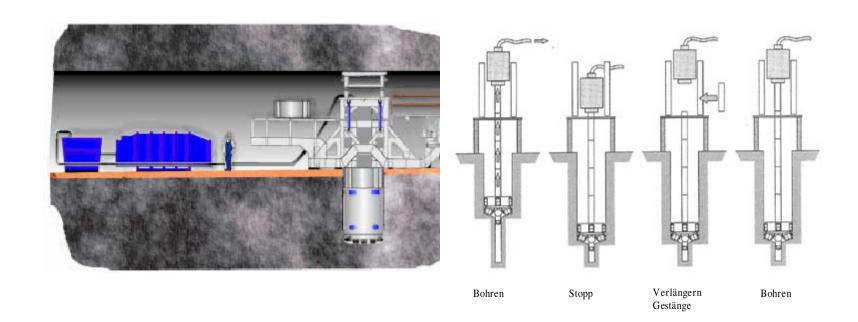
# \_\_\_\_ Technik: Herstellung der Einlagerungsbohrlöcher: =

# Stand der Technik für Hartgestein (Prüfung für Ton erf.):

Pneumatische Bohrkleinabförderung mit indirekter Spülung und Absaugung für Herstellung Einlagerungsbohrlöcher (T = 9 m, D = 1,75 m) in Granitformation (Untertagelabor Äspö, Schweden):

#### **Robbins SBM 1.8**

#### **Reverse Raise Boring**

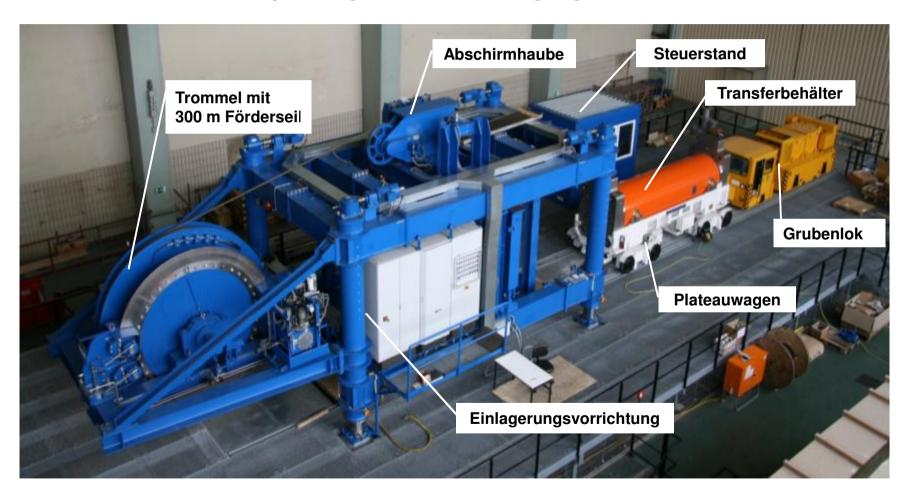




# \_\_\_\_ Technik: Transport und Einlagerung =

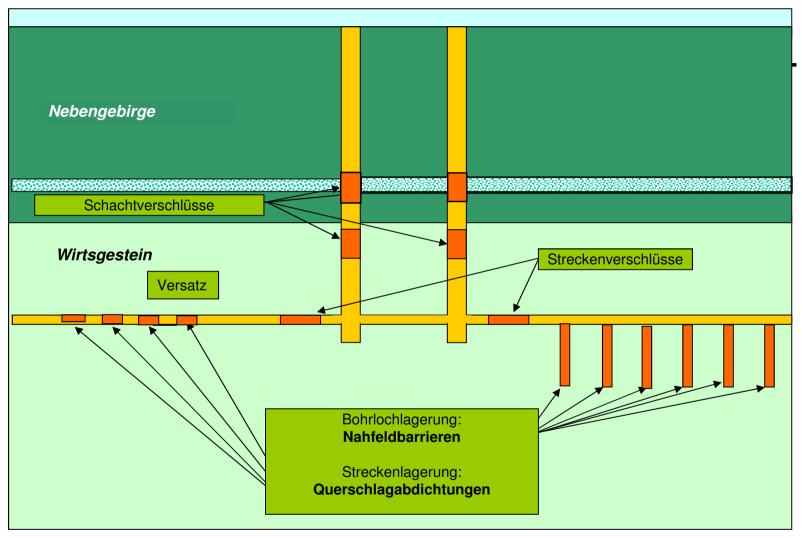
Stand der Technik: Demonstrationsversuche zur Einlagerung von Brennstabkokillen in vertikale Bohrlöcher (2009)

> Anpassungen an Randbedingungen in Ton erforderlich





# \_\_\_ Verfüll- und Verschlusskonzept =

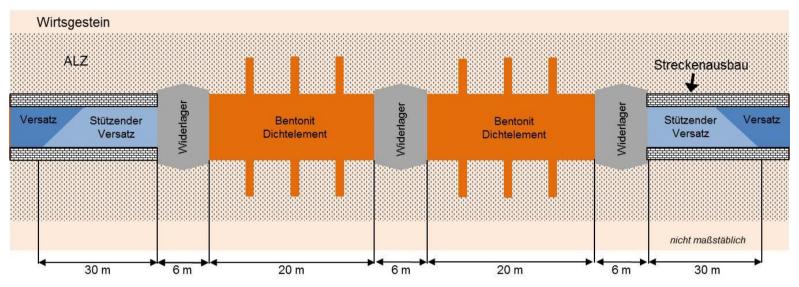


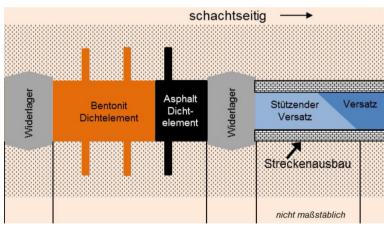
(Status ANSICHT, 2014)



# **Werfüll- und Verschlusskonzept**

# Streckenverschlusskonzepte





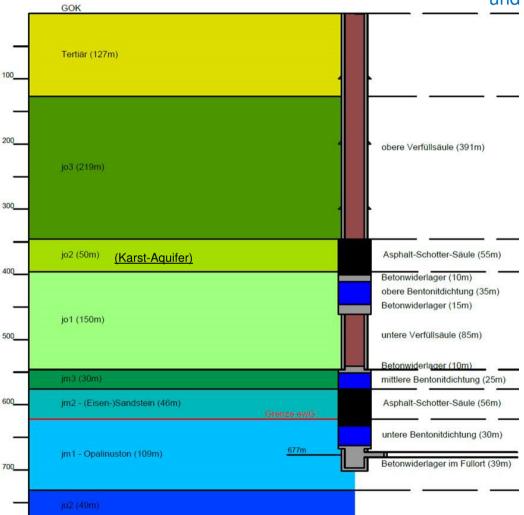
(Status ANSICHT, 2014)



# \_\_\_\_ Verfüll- und Verschlusskonzept

# Schachtverschlusskonzept: Modell Süd

(Ergebnis aus Interaktion in den FuE-Vorhaben ANSICHT und ELSA)



(Status ELSA, 2014)



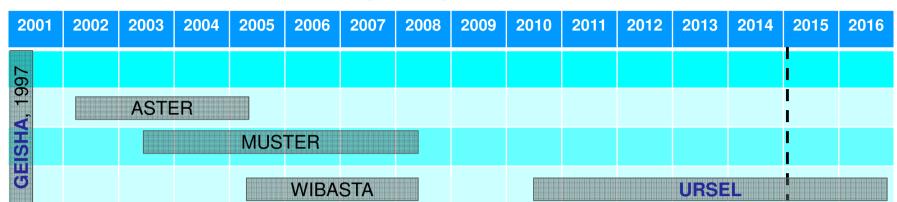
# FuE-Bedarf zur Konzeptentwicklung und Technik für ein HAW-Endlager in Ton

#### **Aufbauend auf dem Kenntnisstand im Vorhaben ANSICHT:**

- Vertiefende Planungen zur Auslegung eines Endlagerbergwerkes unter Berücksichtigung der Anforderung zur Rückholung
- Überprüfung der Technik zur Herstellung und zum Ausbau von Grubenräumen für konkrete geol. Umgebungsbedingungen
- Entwicklung von Endlagerbehälterkonzepten (Material, Funktionen, etc.)
- Entwicklung, Fertigung und Erprobung (Demonstration) der Technik zum Transport und zur Einlagerung von Endlagerbehältern
- Konzept und Technik zur Rückholung entwickeln, Komponenten und Einrichtungen fertigen und in Demonstrationsversuchen deren Sicherheit und Zuverlässigkeit nachweisen
- Analyse der Betriebssicherheit auch für die Rückholung
- Verfüll- und Verschlusskonzepte und –techniken weiterentwickeln und durch Demonstrationsversuche Funktionsnachweise erbringen



# **F&E-Vorhaben zur Endlagerung im Kristallin (z. B. Granit)**



#### FuE-Vorhaben zur Konzeptentwicklung für ein HAW-Endlager in Kristallin:

| GEISHA: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein (Federführung FZK; he |
|---|
|---|

**ASTER** Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein

**MUSTER** Untersuchungen zum thermo-hydraulischen Verhalten von Bentonit-Barrieren im Granit

WIBASTA Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die

Standortauswahl in magmatischen Gesteinen

URSEL Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen

Gesteinen



# Konzeptenwicklung =

Der Stand der Entwicklung von Konzepten für ein HAW-Endlager in Hartgestein in Deutschland basiert auf dem GEISHA-Vorhaben (Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein); 1997: Abschlussbericht FZK - heute KIT:

- in Anlehnung an Endlagerkonzepte im Ausland in den 1990er Jahren Abschätzungen für ein HAW-Endlager in Hartgestein in Deutschland – keine Konzeptentwicklung und keine technische Planung
- grundsätzlicher Vergleich mit dem Referenzkonzept in Salz (hinsichtlich Zeit und Kosten)

Seitdem keine weiteren konzeptionellen oder technischen Planungen für ein HAW-Endlager in Hartgestein

In den vorgenanten FuE-Vorhaben (ASTER; WIBASTA; MUSTER, URSEL) ging es im Wesentlichen um Erkundungsmethoden für Hartgestein oder um Fragen zu geotechnischen Barrieren (auch Kooperationen mit Partnern in Schweden und Russland)



# Konzeptenwicklung =

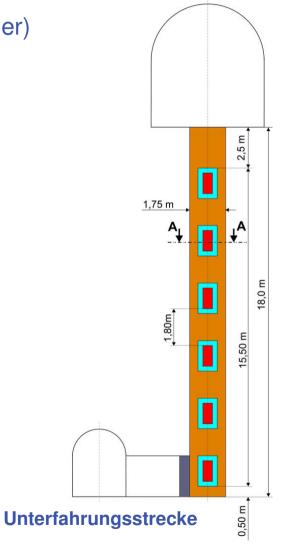
# Beispiel aus Vorhaben ASTER: Konzept Bohrlochlagerung (Ansatz vom russ. Partner)

- Sicherheitskonzept und Sicherheitsnachweiskonzept sind zu entwickeln
- Sicherheitsfunktion durch
  - > technische Barieren und/oder
  - geotechnische Barrierengewährleisten

(geklüftetes Wirtsgestein kann Sicherheitsfunktion nur eingeschränkt übernehmen)

 Technik zum Transport und zur Einlagerung entwickeln

# Einlagerungsstrecke





# \_\_\_ FuE-Bedarf Endlagerung in Kristallin \_

# Grundsätzliche Fragen durch FuE zu klären:

- Entwicklung eines Sicherheits- und Sicherheitsnachweiskonzeptes ("sicherer Einschluss" oder Alternative dazu)
- Darauf zugeschnittenes Konzept zur Auslegung, zum Betrieb und zum Verschluss eines Endlagerbergwerkes
- Eine erste Ideenskizze dazu wurde von BGR, DBETECHNOLOGY und GRS entworfen und befindet sich in der Abstimmung mit BMWi und PTKA

In einer zweiten Phase vertiefende Planungen analog zum FuE-Bedarf für ein HAW-Endlager in Ton (s. Folie 22)

### Mit Blick auf StandAG (unabhängig vom Wirtsgestein):

• Entwicklung einer Methodik zum Vergleich von Endlagersystemen



# **DBE TECHNOLOGY GmbH**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

