

---

---

# Funktionsnachweis für Schachtverschlüsse für HAW-Endlager am Beispiel VSG

N. Müller-Hoeppe

DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine

Mit Beiträgen von:

H.-J. Engelhardt, C. Lerch, M. Linkamp (DBETEC)

D. Buhmann, O. Czaikowski, H.-J. Herbert, K. Wieczorek, M. Xie (GRS)

**ELSA - Workshop**

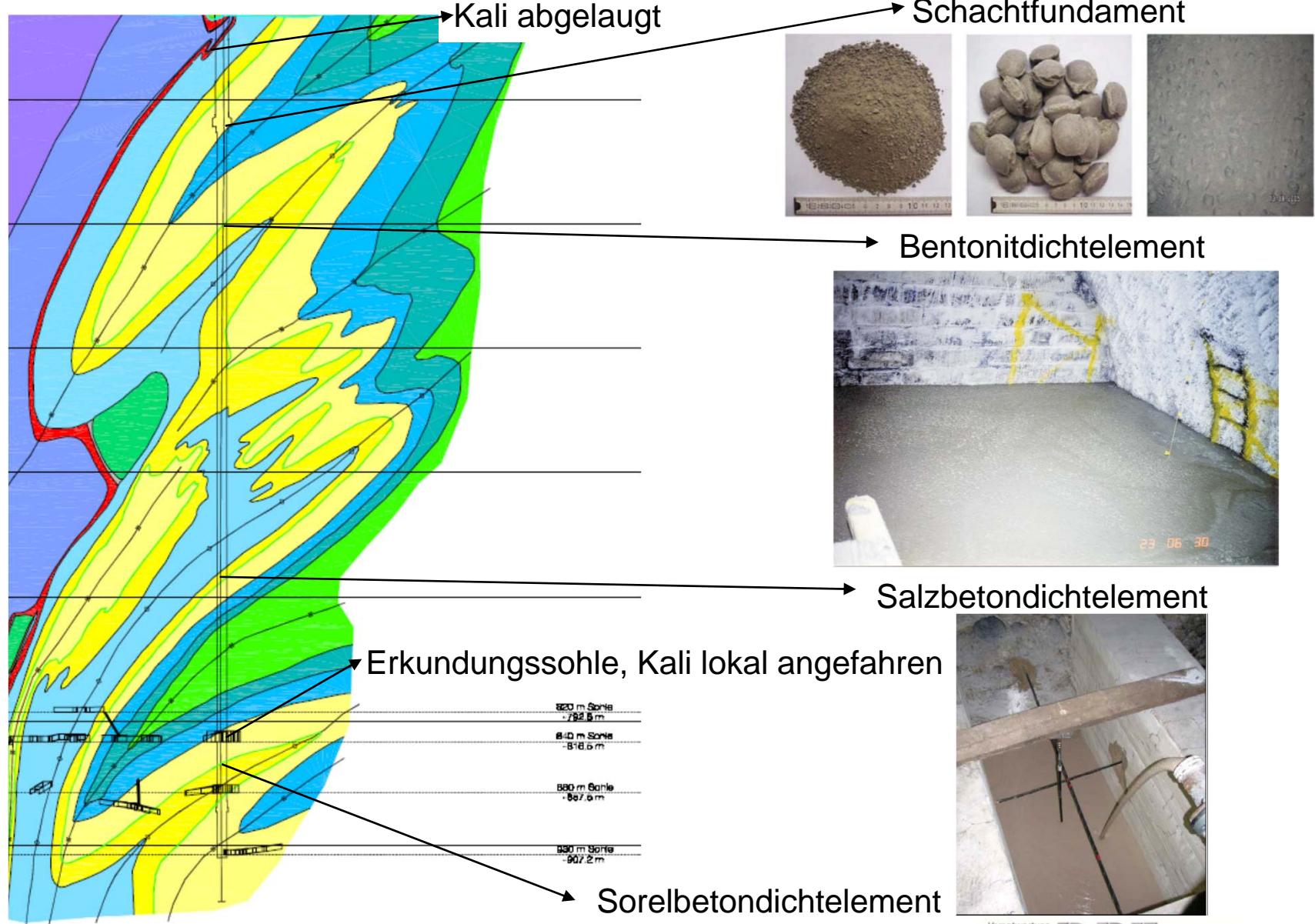
**Peine**

**19.09.2012**

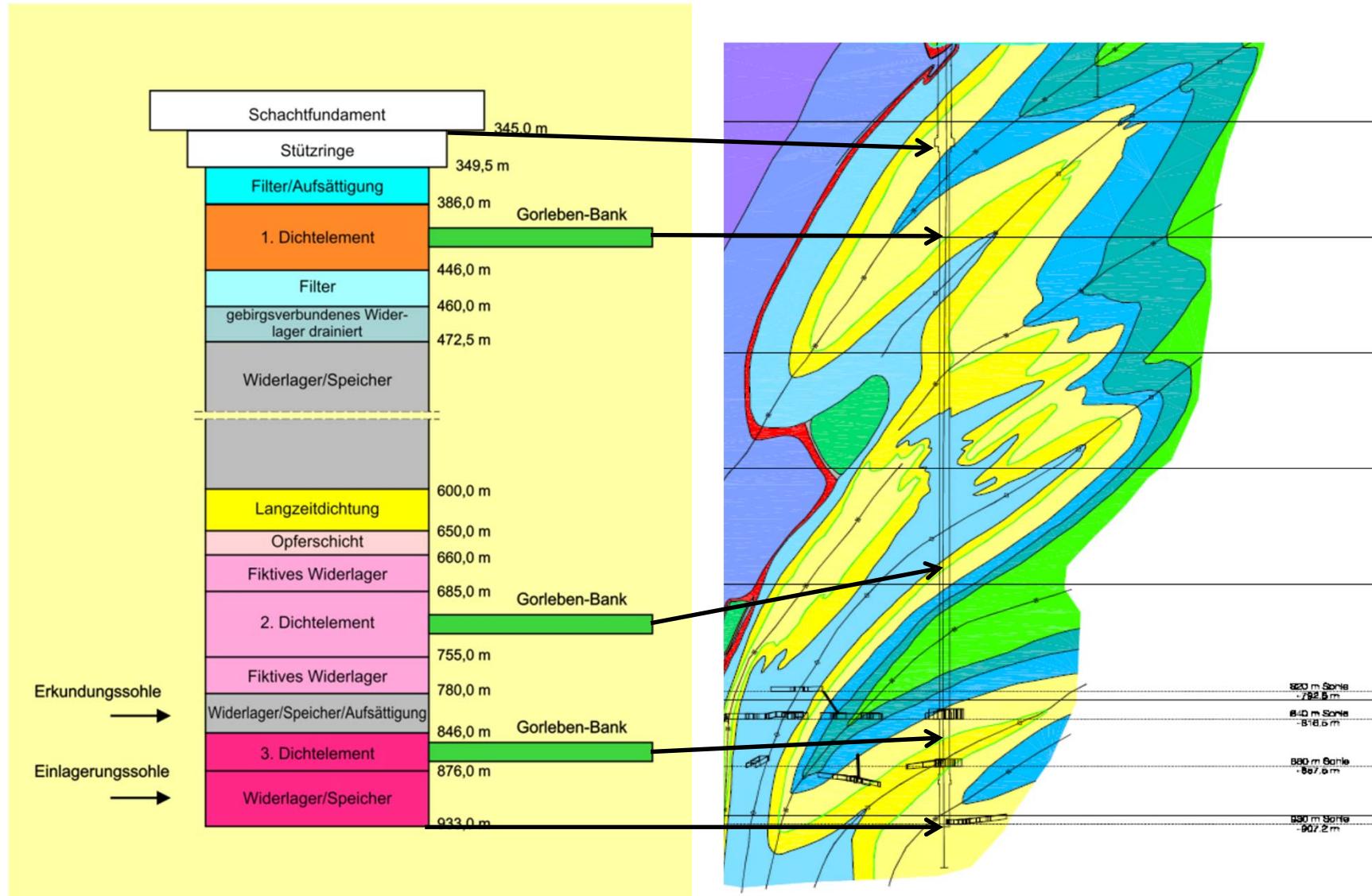
## Planungsrandbedingungen

- Der Schachtverschluss ist Bestandteil eines redundanten geotechnischen Verschlussystems bestehend aus den Schachtverschlüssen Gorleben 1 und Gorleben 2 und Streckenverschlüssen in den Richtstrecken
- Primäre Aufgabe des Verschlussystems ist es, einen durchgängigen Lösungspfad vom Deckgebirge zu den endgelagerten radioaktiven Abfällen zu unterbinden
- Die maßgebliche Einwirkung „deckgebirgsseitiger Lösungsdruck“ wird von den hydrogeologischen Gegebenheiten im Deckgebirge bestimmt
- Änderungen der hydrogeologischen Gegebenheiten sind bis zur nächsten Eiszeit vernachlässigbar
- Für die Funktionsdauer des Verschlussystems wird ein Zeitraum von 50.000 Jahren bis zur nächsten Eiszeit zugrunde gelegt
- Innerhalb dieses Zeitraums übernimmt Salzgrusversatz die Verschlussfunktion
- Für Zeiträume > 50.000 Jahre bestehen keine Anforderungen mehr an die Funktionsfähigkeit des Verschlussystems, es ist aber noch vorhanden und ggf. auch funktionsfähig

# Geologische RBn Schacht Gorleben 1



# Funktionsentwurf Schachtverschluss Gorleben 1

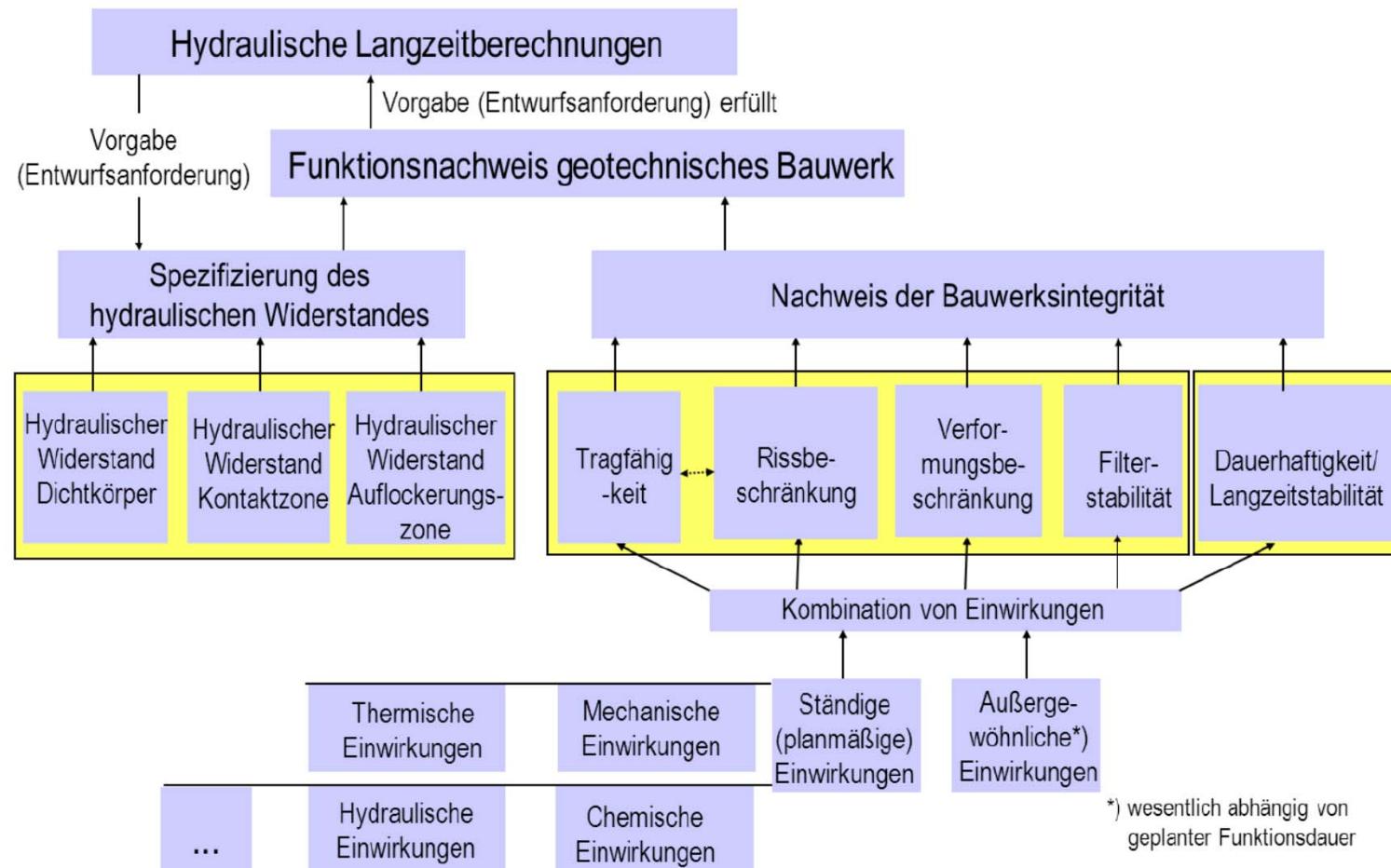


# Funktionsentwurf Schachtverschluss Gorleben 1

Funktionselement	Material	Funktion	Dicke	Teufe OK
Filter/Aufsättigung	Sand/Kies/Basaltsplitt	NaCl-Aufsättigung und Filterstabilität	36,5 m	349,5 m
1. Dichtelement	Bentonit	Aktiv dichtend (Quellen des Bentonits)	60 m	386,0 m
Filter	Sand/Kies/Basaltsplitt	Filterstabilität	14 m	446,0 m
Gebirgsverbundenes Widerlager dräniert	Salzbeton	Beschränkung der Setzung (Auflockerung), Überlagerungsdruck und Erdbeben	12,5 m	460 m
Widerlager/Speicher	Basaltschotter	Verzögernde und druckbrechende Wirkung	127,5 m	472,5 m
Langzeitdichtung	Feuchter Salzgrus	Vorsorglich, für die Einwirkung grubenseitiger Lösungsdruck zum späten Zeitpunkt	50 m	600,0 m
Opferschicht	Salzbeton	Abbau des Korrosionspotentials zutretender Salzlösungen	10 m	650,0 m
Fiktives Widerlager	Salzbeton	Deckgebirgsseitiges Widerlager	25 m	660,0 m
2. Dichtelement	Salzbeton	Passiv dichtend, Aufkriechen des Gebirges erforderlich	70 m	685,0 m
Fiktives Widerlager	Salzbeton	Grubenseitiges Widerlager	25 m	755,0 m
Widerlager/Speicher/ Aufsättigung / ggf. Behelfswiderlager	Basalt-/ Serpentinitischotter, techn. Bischofit	Verzögernde und druckbrechende Wirkung, $MgCl_2$ -Aufsättigung	66 m	780,0 m
3. Dichtelement	Sorelbeton	Passiv dichtend, Aufkriechen des Gebirges erforderlich	30 m	846,0 m
Widerlager	Sorelbeton	Grubenseitiges Widerlager	57 m	876,0 m

## — Schachtverschluss – Technisches Nachweiskonzept

## Technisches Nachweiskonzept → Methode der Teilsicherheitsbeiwerte



# = Schachtverschluss – Spezifizierung des hydraulischen Widerstandes ==

## Referenzszenarium

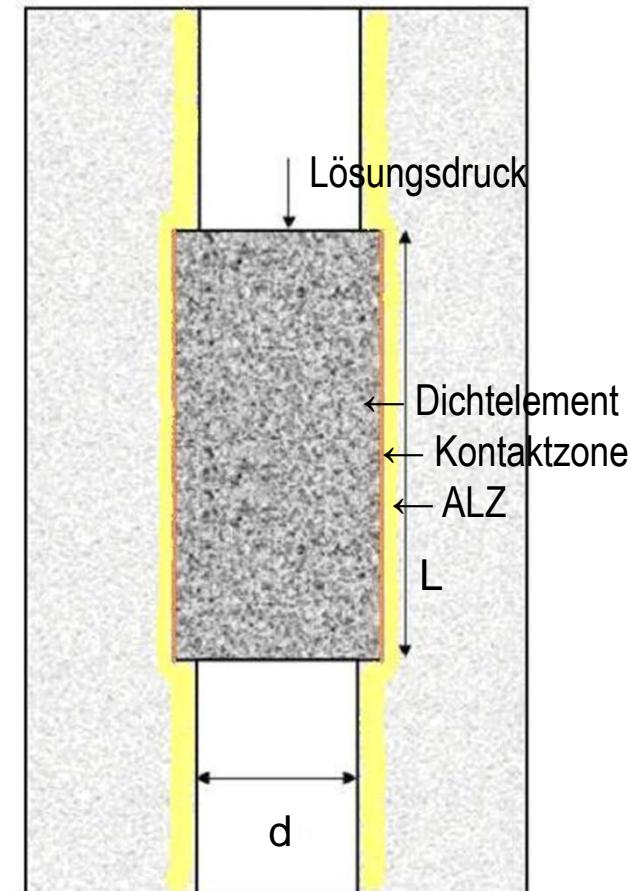
- das Verschlussystem erfüllt seine Funktion
- der Schachtverschluss erfüllt seine Funktion
- Integrale Permeabilität des Dichtelementes aus Bentonit:  
 $k = 1 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$  (Schachtverschluss Salzdetfurth)
- Integrale Permeabilität des Dichtelementes aus Salzbeton:  
 $k = 7 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$  (Asse-Vordamm)
- Integrale Permeabilität des Dichtelementes aus Sorelbeton:  
 $k = 5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$  (SB-775-1)

## Integrale Permeabilität

$$k_{\text{integral}} = \frac{k_D \cdot A_D + k_K \cdot A_k + k_{ALZ} \cdot A_{ALZ}}{A_D}$$

## Hydraulischer Widerstand

$$w_{\text{integral}} = \frac{L}{k_{\text{integral}} \cdot A_D}$$



# == Einwirkungen einschließlich integritätsverletzender FEP ==

## Chemische Einwirkungen

- Chemischer Angriff durch Lösungen und Gase, deren Zusammensetzung jeweils zu spezifizieren ist.
- Durch Temperaturänderungen ausgelöste chemische Einwirkungen (z. B. Löslichkeitsänderungen)

## Mechanische Einwirkungen

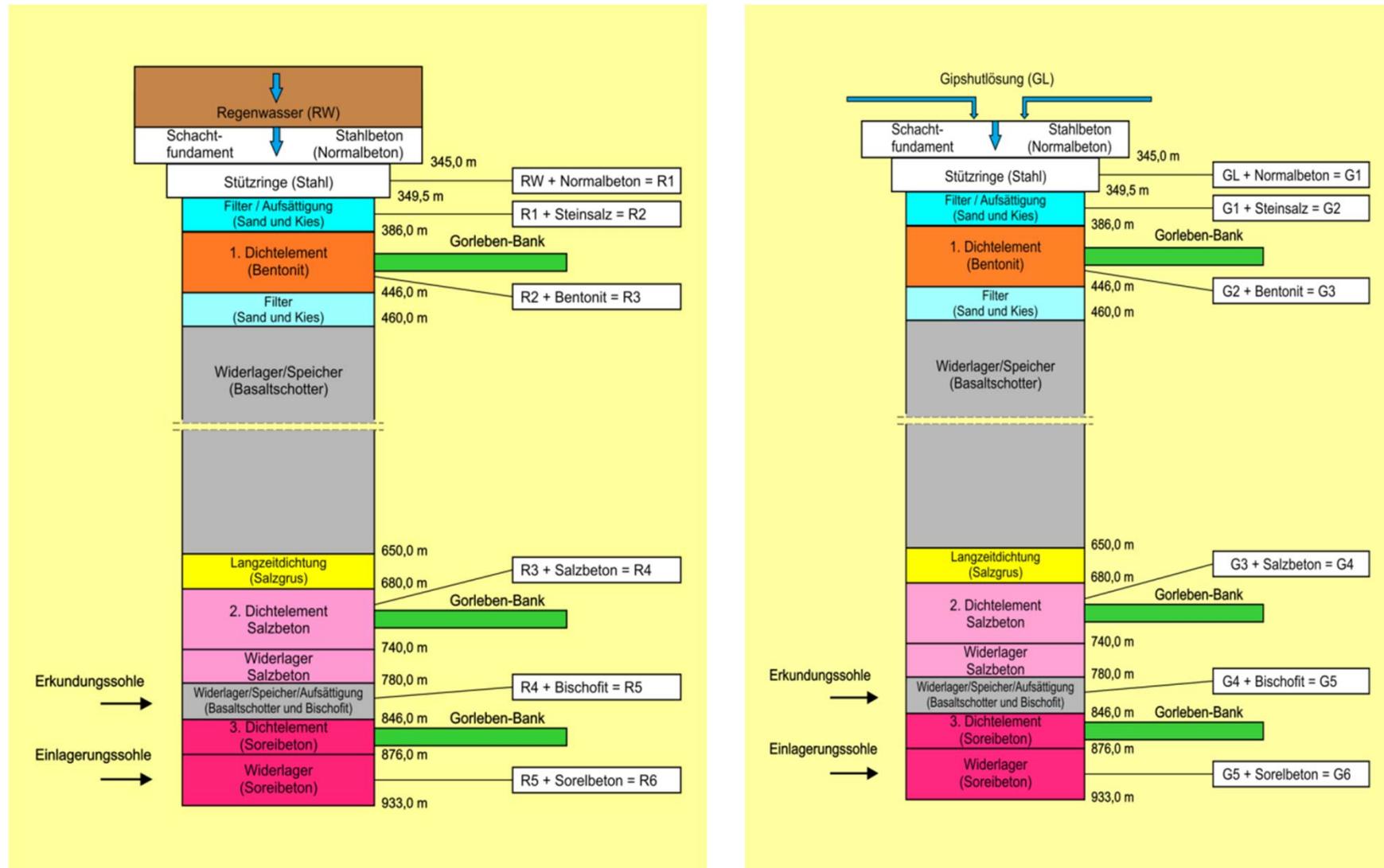
- Einwirkungen aus Kräften und Spannungen
  - Eigengewicht
  - Gebirgsdruck
  - Fluide druck
  - Strömungskräfte
  - Zwangsspannungen (z. B. aus Steifigkeitsdifferenzen)
  - Massenkräfte (aus Erdbeben)
- Einwirkungen aus eingeprägten Verzerrungen
  - Temperaturänderungen/-differenzen in Verbindung mit thermischer Expansion/Kontraktion
  - Quellen/Schwinden
  - Kriechen/Relaxation
  - Zwangsverformungen aus Bauwerk/Baugrundwechselwirkungen (z. B. Verformungsbehinderungen, Setzungen)

# == Vorbemessung – Entkopplung von Einelnachweisen ==

Die Entkopplung bedingt folgende Reihenfolge

- Chemische Vorbemessung zur Beantwortung der Frage, ob die chemischen Einwirkungen soweit beherrschbar sind, dass keine maßgebliche Permeabilitätserhöhung oder eine mechanische Beeinträchtigung (z. B. durch Festigkeitsverlust) erfolgt
- Mechanische Vorbemessung zur Beantwortung der Frage, ob die mechanischen Einwirkungen soweit beherrschbar sind, dass keine maßgeblichen Rissbildungen oder Auflockerungen mit der Folge signifikanter Permeabilitätserhöhung entstehen
- Hydraulische Vorbemessung zur Beantwortung der Frage, ob das Verschlussystem geeignet ist, das Entwurfsziel „kein durchgängiger Lösungspfad“ zu erfüllen

# Schachtverschluss – Chemische Vorbemessung



# — Schachtverschluss – Chemische Vorbemessung —

## Ergebnis der chemischen Vorbemessung

Anmerkung:  $K_u$  bzw.  $K_m$  beschreiben das Korrosionspotenzial der Lösung gegenüber den Bindemitteln

Lösung	$K_u$ [ $m^3/m^3$ ]	$K_m$ [kg/kg]	Korrosionspotential
R1	7,12 E-4	0,0015	sehr gering
R4	0,225	0,394	mittel
R6	6,73E-8	1,16E-7	nicht vorhanden

Lösung	$K_u$ [ $m^3/m^3$ ]	$K_m$ [kg/kg]	Korrosionspotential
G1	0,03	0,055	gering
G4	0,24	0,417	mittel
G6	6,72E-8	1,16E-7	nicht vorhanden

- Anordnung der Funktionselemente ist prinzipiell richtig
  - Anstieg des Korrosionspotentials gegenüber zementgebundenem Beton  $R_1 \rightarrow R_4$  ist auffällig
  - Identifikation der Ursache: Ionenaustausch im Bentonit
  - $M_g^{++}$ - Menge ist beschränkt
- Unter Zugrundelegung konservativer Annahmen können im ungünstigen Fall GL durch zutretende Deckgebirgslösung und schachtinterne Lösungen maximal 952 t Salzbeton (Typ Asse) korrodiert werden

→ Diese Salzbetonmasse ist als Opferschicht von 10 m Dicke (Bodensatz) im Funktionsentwurf berücksichtigt

# — Schachtverschluss – Mechanische Vorbemessung —

Im Rahmen der mechanischen Vorbemessung erfolgt die

- Abschätzung der erforderlichen Widerlagerlänge für kohäsive Widerlagerelemente unter der Einwirkung Lösungsdruck
- Abschätzung der Setzungen der Filterschicht in Folge der Einwirkung Gebirgsauflast
- Abschätzung der zusätzlichen Setzungen unter der Einwirkung Massenkräfte in Folge Erdbeben

Ergebnis der mechanischen Vorbemessung (Nachweis der Tragfähigkeit/Rissbeschränkung)

- Die Widerlagerlängen für kohäsive Widerlagerelemente unter der Einwirkung Lösungsdruck sind ausreichend bemessen (Festigkeitskriterien für Rissbeschränkung für die verschiedenen kohäsiven Materialien)

Ergebnis der mechanischen Vorbemessung (Nachweis der Verformungsbeschränkung)

- Die Setzungen der Filterschicht in Folge der Einwirkung Gebirgsauflast (Beschränkung der Auflockerung) sind ausreichend beschränkt
- Die zusätzlichen Setzungen unter der Einwirkung Massenkräfte in Folge Erdbeben (Beschränkung der Auflockerung durch dräniertes Widerlager) sind ausreichend beschränkt

# — Schachtverschluss – Hydraulische Vorbemessung —

Im Rahmen der hydraulischen Vorbemessung erfolgt unter der Einwirkung Lösungsdruck die

- Abschätzung der Durchtrittszeit von Salzlösung durch das Bentonitdichtelement
- Abschätzung des Durchflussvolumens durch das Bentonitdichtelement
- Ermittlung der Zeitdauer bis zur Auffüllung des anschließenden Speichervolumens

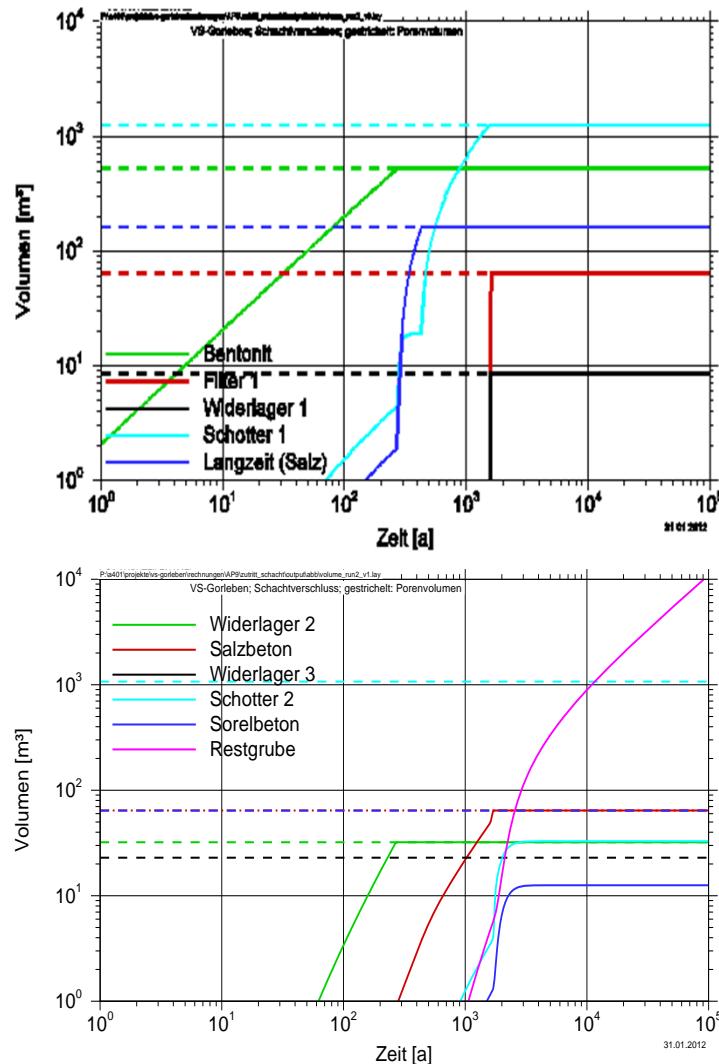
mit dem Ziel

- einer ausreichenden zeitlichen Verzögerung des Druckaufbaus von Salzlösung vor den Streckenverschlüssen zu den Einlagerungsbereichen,
- so dass die Salzgruskompaktion so weit fortgeschritten ist (Orientierungswert 1000 Jahre),
- dass kein advektiver Transport von Salzlösung mehr erfolgt

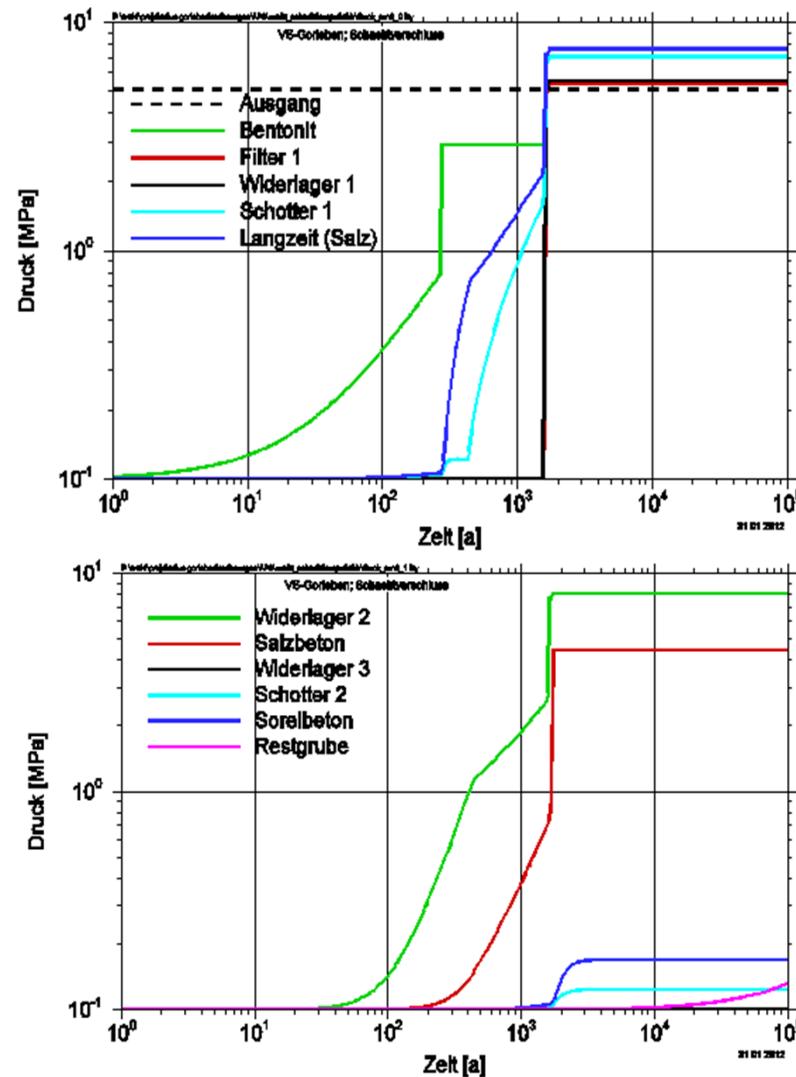
Ergebnis der hydraulischen Vorbemessung (Hydraulischer Widerstand)

- Der hydraulische Widerstand in Verbindung mit den Speichervolumina reicht aus, um für den Orientierungswert von 1000 Jahren eine ausreichende zeitliche Verzögerung des Druckaufbaus von Salzlösung zu gewährleisten

# Schachtverschluss – „Kein durchgängiger Lösungspfad“



Lösungsvolumina in den Funktionselementen des Schachtverschlusses



Druckverläufe in den Funktionselementen des Schachtverschlusses

# — Schachtverschluss – Zusammenfassung und Ausblick —

## Vorstellung eines Funktionsentwurfes für den Schachtverschluss Gorleben 1

- Berücksichtigung standortspezifischer RBn, der Standortprognose und integritätsverletzender FEP
- Nutzung von dokumentierten Ergebnissen hergestellter Prototypen und Verschlussbauwerke →
- Nachweis der Herstellbarkeit ist gewährleistet
- Anwendung der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte für den technischen Funktionsnachweis
- Der Funktionsnachweis wurde für die Anforderung „kein durchgängiger Lösungspfad“ im Tiefgang einer Vorbemessung erfolgreich geführt

## Vertiefte Nachweisführung (gekoppelte Betrachtungen, Gaspfad)

- Ergebnisse der Vorbemessung werden grundsätzlich bestätigt
- Regelwerkskonforme Führung der Funktionsnachweise im Rahmen der vertieften Nachweisführung ist eingeschränkt
  - Datenlagen sind nicht gezielt für die Nachweisführung ermittelt (FuE)
  - Modellierungswerzeuge (Rechenprogramme) bedürfen der Anpassung und Verbesserung

## Nächste Schritte

- Füllen von Lücken in der Nachweisführung (regelwerkskonforme Nachweisführung)
- Konzeptoptimierung unter ständiger Berücksichtigung der qualitätsgesicherten Herstellbarkeit

---

# DBE TECHNOLOGY GmbH



**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit.**