

Verschlussbauwerke – ausgewählte Aspekte

Das Sitz'sche Konzept

Qualitätssicherung für Verschlussbauwerke

Bentonitabdichtungen in Bohrungen

Additive Fertigung für die Geoströmungstechnik

Großräumige Injektion

Das Sitz'sche Konzept

natürliche Analoga

Nutzung von Bau- und Dichtmaterialien deren Langzeitbeständigkeit für die Einsatzbedingungen durch natürliche Analoga bestätigt sind → ein Grundkonzept für Verschlussbauwerke im Kalisalzbergbau

Dichtmaterialien Bentonit, Ton, Asphalt, Salzminerale

Widerlager Vulkanite – Basalt, Diabas, Diorite, Granite ...

Konzept

konsequenter Aufbau des Verschlusssystems aus geologisch erprobten Materialien → kein Nachweis der Langzeitbeständigkeit / Dauerhaftigkeit / Funktionsfähigkeit notwendig

Anpassung des Verschlusskonzeptes, der Einbautechnologie und der Nachweisführung an die spezifischen Eigenschaften der Materialien

Erfahrungsstand IBeWa

- | | |
|---------------|--|
| national | 3 Schachtverschlüsse Grube Salzdettfurth (Bentonit + Schotter) |
| | 1 Schachtverschluss Grube Springen (Bentonit + Schotter) |
| | 1 Streckenverschlussbauwerk zwischen Sondershausen und Immenrode (Bentonit + Solebeton) |
| | 2 Schachtverschlüsse auf Basis von Bentonit in Planung |
| international | 14 Streckenverschlussbauwerke mit redundanten / diversitären Dichtsegmenten aus Bentonit und Asphalt in Kombination mit MgO- und CSH-Kompositwiderlagern → befristete Funktionsdauer |

Ausblick

Weiterentwicklung der Widerlagerkonzepte – für Schächte und Strecken

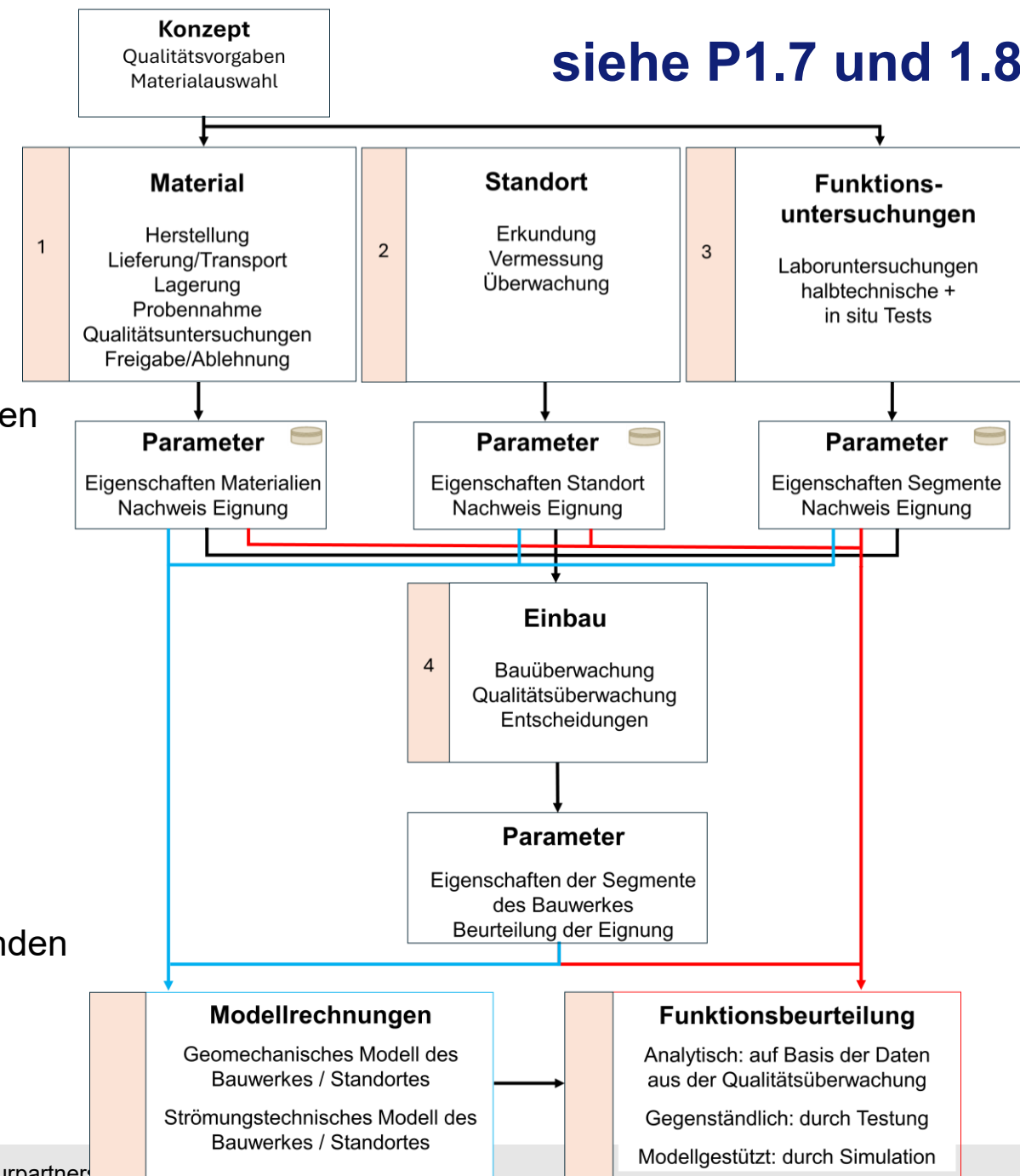
IBeWa-Prämissen für Verschlussbauwerke

- Jeder Strecken- oder Schachtquerschnitt in einem Salzbergwerk kann strömungstechnisch abgedichtet werden.
 - Es ist eine Frage des ingenieurtechnischen Verschlusskonzeptes.
- Der Anfang erfordert sachlich begründete, quantifizierte und beurteilbare Anforderungen und Entscheidungen – $p_{\max}$, $V_{\max}$, $F_{\max,i}$, Funktionsregime, Funktionsnachweise – der „Rest“ ist bekannte Ingenieurskunst.
- Entwicklung Verschlussbauwerk: Formulierung Anforderungen → Standortcharakterisierung – k , σ , geologische und bergtechnische Situation → Grundkonzept + Materialauswahl + Dimensionierung → Bau + Qualitätssicherung → Testung/ Funktionsbeurteilung
- Ingenieurtechnische Ansätze, messtechnische Möglichkeiten, Funktionsnachweise und verbleibende Handlungsoptionen sollten entscheidungsrelevant sein.
- Jedes Verschlusssystem ist ein Unikat - jedoch sind Gesetzmäßigkeiten, Zusammenhänge, Konzepte, Methoden und Technologien übertragbar.
- Integrale Permeabilitätsanforderungen sind unzureichend → Permeabilitätsanforderungen an Dichtsegmente müssen lokal eingehalten werden → Bewertung von Funktionsregimen, Volumenströmen und Frachten
- Die Methoden, das Qualitätsmanagement und die Verantwortlichkeiten für Materialien, Einbau und Funktionsbeurteilung sollten frühzeitig klar strukturiert, vereinheitlicht und durchgesetzt werden.

Qualitätssicherung für Verschlussbauwerke

- IBeWa-Standardvorgehensweise
 - 4 Schächte
 - 14 Streckenverschlussbauwerke
 - aktuell in Vorbereitung für Verschluss von 2 weiteren Schächten
 - Notwendigkeit einer standortbezogenen Datenbank
 - Empfehlung: frühzeitige Abstimmung
 - des Methodenkataloges
 - des entscheidungsorientierten QM
 - der Datenstrukturen
 - der Schnittstellen
 - der Vorgehensweise bei der Funktionsbeurteilung
- zwischen dem Auftraggeber und dem Planer/ Ausführenden und der Genehmigungsbehörde

siehe P1.7 und 1.8



Bentonitabdichtungen in Bohrungen

- Konzept: Übertragung der Bentonitformstein-Erfahrungen aus dem Kalisalzbergbau auf den Verschluss von Tiefbohrungen – Kavernen, Geothermie, CCS, Erdöl-Erdgas
→ zusätzliche Methodik für die Herstellung der dauerhaften Bohrlochintegrität
- Herausforderungen: Bohrungen flüssigkeitserfüllt → Quellverzögerung erforderlich
- geringes Durchmesserspiel Bentonitformsteine / Bohrloch → Optimierung Einbaudichte
- Einbautechnologie für unterschiedliche Bohrlochkomplettierungen und Übertagebedingungen → robuste Ausführung notwendig, aufgabenbezogene Einbautechnologie erforderlich
- Sachstand: Entwicklung, Produktion, Parametrisierung und Testung zylindrischer Bentonitformsteine
- erfolgreiche Testung von Bentonitdichtsegmenten im Labormaßstab → im halbtechnischen Maßstab (5 ½“) → in situ in Bohrung (5 ½“)
2. in situ-Testung in Vorbereitung
- Ausblick: Entwicklung Konzept + Technologie für unterschrittene Rohrtouren
- Entwicklung Einbautechnologien für Anwendung im Untertagebergbau



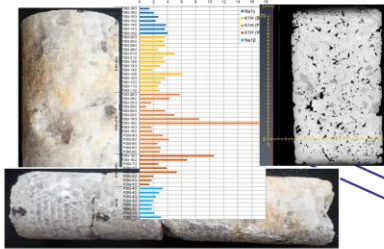
Hintergrund von der Jugend lernen ...

Entwicklung Versatzdrucksensoren → siehe P4.1

Entwicklung Injektionskonzept für große Strömungsräume → siehe P3.1-P3.4

Ausblick	3d-Druck Permeabilität	reproduzierbare Prüfkörper für strömungstechnische Prozessuntersuchungen → siehe P3.4 Konzipierung: AMPer - Additive M anufactured PER meability in Kooperation mit Fraunhofer IWS, HZDR, Inst. f. Bohrt. TU BAF, Rembe Consulting, Factor2
	3d-Druck Druckaufnehmern	anwendungsorientierte Druckaufnehmer → siehe P4.1
	3d-Druck Versuchstechnik	Quelldruckzellen für Parametrisierung von Bentonit
	3d-Druck Bodenstruktur	Prozessuntersuchungen für Injektionskonzepte
	3d-Druck Rohrleitungen	geothermische Energiegewinnung und Optimierung Energietransport





strömungstechnische Parametrisierung Salinargebirge

- Permeabilität
- Porengrößenverteilung CT
- Porosität
- Injektionsversuche
- Ermittlung 3d-Porenmodell über CT

siehe Poster

P3.2

Injektionskonzept

- Auswahl unterschiedlicher Injektionsmittel (Vorprojekt)
- Rezepturentwicklung Unlösliches+Salzlösung **siehe Poster P3.2**
- rheologische Charakterisierung
- laborative Injektionstests
- Sedimentationsversuche + modellgestützte Prognose
- Auswahl Injektionskonzept

modellbasierte Prognose Injektion

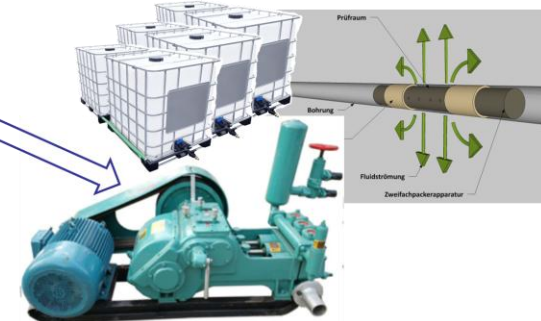
siehe Poster

P3.3

- Modellbasierte Simulation Sedimentation
- Modellentwicklung auf Basis 3d-CT
- Modellrechnungen Ein- und Mehrphasenströmung
- Nachrechnung Injektionsversuch
- upscaling Modellansatz auf in situ-Maßstab
- Prozesssimulation u. Dimensionierung der Injektion

- Erkundungsbohrungen
- 3d-Modellierung der Standortkenntnisse
- Testung zur strömungstechnischen Erkundung
- begleitende Testung Erkundungsbohrungen
- Installation/Fortsetzung kontinuierliches Monitoring
- Testung Versuchsbohrung für Testinjektion
- strömungstechnische Standorterkundung**

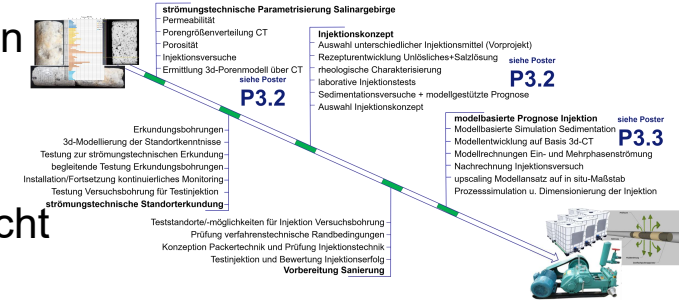
- Teststandorte/-möglichkeiten für Injektion Versuchsbohrung
- Prüfung verfahrenstechnische Randbedingungen
- Konzeption Packertechnik und Prüfung Injektionstechnik
- Testinjektion und Bewertung Injektionserfolg
- Vorbereitung Sanierung**



Großräumige Injektion

siehe P3.1 – P3.3

- Konzept:** Entwicklung von Handlungskonzepten bei diffusen Zuflüssen aus oder in großräumige strömungstechnisch anisotrope Formationen
- Herausforderungen:** Prozesse im Labor auf Grund der hohen Permeabilitäten nicht reproduzierbar simulierbar
- Vorgehensweise:**
- repräsentative laborative Parametrisierung und 3d-Modellbildung (CT) der Formation und der Injektionsmittel
 - Herstellung synthetischer (3d-gedruckter) Prüfkörper in der erforderlichen Größe für die Prozessuntersuchungen bis zum halbtechnischen Maßstab
 - numerische Prozesssimulation und –prognose auf Basis der Parametrisierung der Formation + Injektionsmittel und der Ergebnisse der Prozessuntersuchungen
 - Konzipierung und Dimensionierung der Injektionsmaßnahme
- Sachstand:** Teile der Methodik wurden erfolgreich angewendet (ohne synthetische 3d-Proben)
- größentechnische Testung in Vorbereitung
- Ausblick:** Fokussierung der Fertigungsmethoden auf den reproduzierbaren 3d-Druck von repräsentativen Porenstrukturen → Fraunhofer IWS
- Prüfung der Methodik für Injektionskonzepte für Lockermaterialschüttungen
- Anwendung 3d-gedruckter Prüfkörper für Prozessuntersuchungen



... was wir noch machen wollen ...

Das Sitz'sche Konzept

Qualitätssicherung für Verschlussbauwerke

Bentonitabdichtungen in Bohrungen

Additive Fertigung für die Geoströmungstechnik

Großräumige Injektion

Weiterentwicklung Funktionsnachweis Verschlussbauwerke StroeFun / FUNGUS

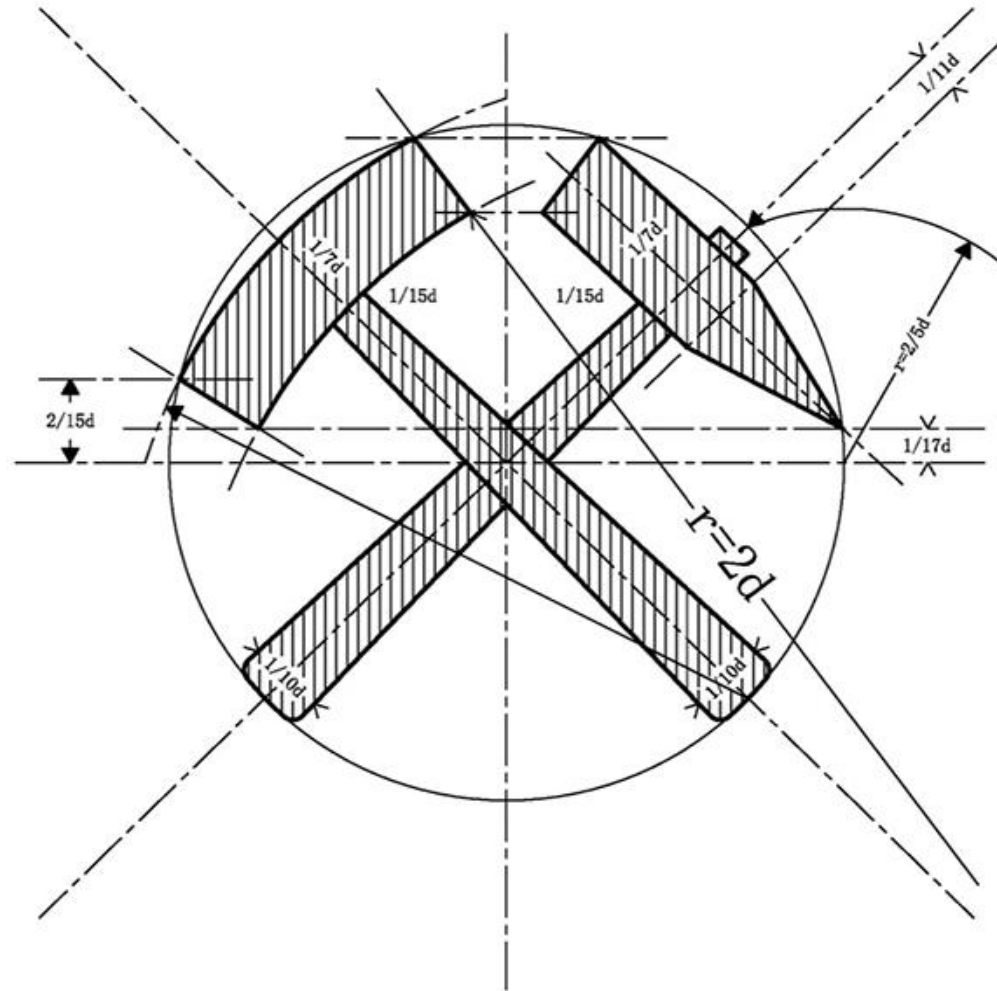
Weiterentwicklung der Widerlagerkonzepte für Verschlussbauwerke

Weiterentwicklung der Nutzung geologisch erprobter Dichtmaterialien

Weiterentwicklung der kabellosen Datenübertragung im Gebirge

...

**praxisorientierte Datenbasis für strömungstechnische und geomechanische Parameter
(Gesteine + Baustoffe)**



Haben Sie vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Ich freue mich auf Ihre Reaktionen und Fragen