

Enhancement of Bentonite Models for High Temperature Ranges up to 200°C

**Kurztitel/
ggf. Akronym:** Benterest

Projektziel: Ziel des Vorhabens ist die Weiterentwicklung von numerischen Werkzeugen und gekoppelten thermisch-hydraulisch-mechanischen (THM)-Stoffmodellen für Bentonit, um eine rechnerische Simulation von gekoppelten THM-Prozessen in Bentonit bei Temperaturen oberhalb von 100°C zu ermöglichen. Die Leistungsfähigkeit der entsprechenden Werkzeuge soll durch die Nachrechnung von Versuchen im Rahmen des HotBENT-Projektes im Felslabor Grimsel gezeigt werden.

Forschungsfeld: Endlagerplanung

Projektpartner: BGE TECHNOLOGY GmbH (BGE TEC)

Budget (Netto): 875.900 Euro

Projektlaufzeit: 11/2022 – 06/2027

**Forschungsauftrags-
nummer:** --

**Weiterführende
Informationen:** [HotBENT Aims & Objectives \(grimsel.com\)](https://www.grimsel.com/HotBENT-Aims-Objectives)
[Mechanistic understanding of gas transport in clay materials \(GAS\) | Eurad \(ejp-eurad.eu\)](https://www.eurad.eu/Mechanistic-understanding-of-gas-transport-in-clay-materials-GAS)
[Influence of temperature on clay-based material behaviour \(HITEC\) | Eurad \(ejp-eurad.eu\)](https://www.eurad.eu/Influence-of-temperature-on-clay-based-material-behaviour-HITEC)

Projektbeschreibung

Benterest ist eng mit dem In-situ-Experiment HotBENT, das im Felslabor Grimsel durchgeführt wird, verknüpft und führt umfangreiche Simulationen von thermisch-hydraulisch-mechanischen (THM) Prozessen in Bentonit durch. Das Leistungsvermögen der zugrundeliegenden Modelle sowie der Simulationen wird durch die Neuberechnung von Experimenten und auf Basis von Daten aus dem HotBENT Experiment dargestellt. Das fünf Jahre umfassende HotBENT Experiment besteht aus vier Heizelemente in zwei Sektoren und erlaubt den teilweisen Rückbau und die Fortführung von Experimenten über 20 Jahre. Benterest richtet sich an den Zielen von HotBENT aus, das darauf abzielt, THM Prozesse in Bentonit bei Temperaturen über 100°C fundiert zu charakterisieren. Im Detail werden folgende Aufgaben bearbeitet:

1. Untersuchung der Auswirkungen hoher Temperaturen (>150°C) auf die Leistung von

- Bentonit, insbesondere des Einflusses von hoher thermischer Belastung an und nahe der Erhitzeroberfläche.
2. Verbesserung bestehender Datenbanken und des Verständnisses von Bentonitversatz bei hohen Temperaturen und unter Berücksichtigung von endlagerrelevanten Größenordnungen und In-situ-Bedingungen.
 3. Prüfung und Bestätigung der Vorhersagekraft von aktuellen konzeptionellen und numerischen Modellen, um vorherrschende Prozesse in Bentonit zu verstehen und zu beschreiben.
 4. Beurteilung möglicher Veränderungen im Bentonitversatz und Bewertung von deren Auswirkung auf anerkannte Sicherheitsfunktionen und –anforderungen.
 5. Untersuchung des chemischen Verhaltens von Bentonit unter erhöhten Temperaturen unter Einbeziehung von Modellen und Daten bestehender Laborexperimente.

Parallel zu den experimentellen Arbeiten spielen numerische Modellierungen eine wichtige Rolle im Rahmen des HotBENT In-situ-Experiments. Unterschiedliche Modellierungscodes und –ansätze sollen getestet werden. Hierzu werden im Zusammenspiel mit Szenarien, die in einem Endlager auftreten können, Modellierungen inklusive TH-THM-THC und thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischen (THMC)-Prozessen mit unterschiedlichen Abstrahierungsgraden (1D bis 3D) durchgeführt. Mit diesem Ziel nehmen elf Institutionen aus sieben Ländern an den numerischen Arbeiten in HotBENT teil.

Um die oben aufgeführten Ziele zu erreichen ist Benterest in die folgenden Arbeitspakete (APs) aufgeteilt:

AP 1 – Weiterentwicklung des Bentonitmodells: Das Hauptziel dieses APs ist die Weiterentwicklung des Bentonit-Stoffmodells, das aktuell in OpenGeoSys (OGS) implementiert ist. Dieses Modell, basierend auf Mašín (2017), ist ein integraler Bestandteil laufender FuE Aktivitäten im Rahmen des Projektes PIONIER sowie der im Mai 2024 abgeschlossenen Projekte GAS und HITEC innerhalb des EURAD Programms.

AP 2 – Test und Weiterentwicklung der Thermo-Richards-Mechanics (TRM)-Prozessklasse: Dieses AP hat zum Ziel das THM Prozessmodell in OpenGeoSys zu entwickeln, um komplexe Materialmodelle wie das Bentonitmodell in OGS nutzen zu können. Es beinhaltet Testphasen um die akurate numerische Abbildung von ungesättigten Prozessen unter Temperatureinflüssen für Bentonit abzusichern.

AP 3 – Nachmodellierung von Laborversuchen aus HITEC: Nach Fertigstellung der Entwicklungsarbeiten und deren erfolgreichen Verifizierung soll in diesem AP die Nachmodellierung von Labortests aus HotBENT und aus früheren Forschungsprojekten wie EURAD HITEC durchgeführt werden. Diese Tests analysieren THM-Effekte im Bentonit unter Temperaturbedingungen von bis zu 150°C und stellen damit wichtige Validierungen der entwickelten numerischen Instrumente dar.

AP 4 – Modellierung des HotBENT-Versuches: Im AP 4 wird die numerische Modellierung des HotBENT Experiments durchgeführt. Dabei wird eine schrittweise Herangehensweise mit wachsender Komplexität verfolgt.

AP 5 – Neuimplementierung des Bentonitmodells in Mfront: Aufgrund des komplexen Materialverhaltens von Bentonit zielt AP 5 auf eine Neuimplementierung des gewählten Modells in MFront ab, einem Codegenerator für Material-Modellierungen. Diese Arbeiten tragen maßgeblich dazu bei, dass das Know-How über die Entwicklung komplexer Modelle für Bentonit in Deutschland verfügbar gemacht wird. Die Implementierung in MFront trägt zur effektiven Prozessbearbeitung und Standardisierung bei. Dies ist von hoher Bedeutung für Langzeitsicherheitsuntersuchungen im Kontext der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle.

Referenzen

Mašín, D., 2017. Coupled Thermohydromechanical Double-Structure Model for Expansive Soils. *Journal of Engineering Mechanics* 143, 04017067. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EM.1943-7889.0001278>