



# Can we safely go to 200 °C? An integrated approach to assessing impacts to the engineered barrier system in a high-temperature repository

Jens T. Birkholzer, Liange Zheng, and Jonny Rutqvist

Energy Geosciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA

**Correspondence:** Jens T. Birkholzer (jtbirkholzer@lbl.gov)

Published: 10 November 2021

**Abstract.** This presentation gives an overview of the complex thermo-hydro-mechanical-chemical (THMC) processes occurring during the disposal of heat-producing high-level radioactive waste in geologic repositories. A specific focus is on the role of compacted bentonite, which is commonly used as an engineered backfill material for emplacement tunnels because of its low permeability, high swelling pressure, and radionuclide retention capacity. Laboratory and field tests integrated with THMC modeling have provided an effective way to deepen our understanding of temperature-related perturbations in the engineered barrier system; however, most of this work has been conducted for maximum temperatures around 100 °C. In contrast, some international disposal programs have recently started investigations to understand whether local temperatures in the bentonite of up to 200 °C could be tolerated with no significant changes to safety relevant properties. Raising the maximum temperature is attractive for economical and safety reasons but faces the challenge of exposing the bentonite to significant temperature increases. Strong thermal gradients may induce complex moisture transport processes while geochemical processes, such as cementation and perhaps also illitization effects may occur, all of which could strongly affect the bentonite and near-field rock properties.

Here, we present initial investigations of repository behavior exposed to strongly elevated temperatures. We will start discussing our current knowledge base for temperature effects in repositories exposed to a maximum temperature of 100 °C, based on data and related modeling analysis from a large heater experiment conducted for over 18 years in the Grimsel Test Site in Switzerland. We then show results from coupled THMC simulations of a nuclear waste repository in a clay formation exposed to a maximum temperature of 200 °C. We also explore preliminary data from a bench-scale laboratory mock-up experiment, which was designed to represent the strong THMC gradients occurring in a “hot” repository, and we finally touch on a full-scale field heater test to be conducted soon in the Grimsel Test Site underground research laboratory in Switzerland (referred to as HotBENT).

**Kurzfassung.** Dieser Vortrag gibt einen Überblick über die komplexen thermo-hydro-mechanisch-chemischen (THMC) Prozesse, die bei der Entsorgung von wärmeproduzierenden hochradioaktiven Abfällen in geologischen Endlagern auftreten. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Rolle von verdichtetem Bentonit, der aufgrund seiner geringen Durchlässigkeit, seines hohen Quelldrucks und seines Rückhaltevermögens für Radionuklide häufig als technisches Verfüllmaterial für Einlagerungstunnel verwendet wird. Labor- und Feldversuche in Verbindung mit THMC-Modellen haben es ermöglicht, unser Verständnis von temperaturbedingten Störungen im technischen Barriersystem zu vertiefen; die meisten dieser Arbeiten wurden jedoch für Höchsttemperaturen um 100 °C durchgeführt. Im Gegensatz dazu haben einige internationale Entsorgungsprogramme vor Kurzem mit Untersuchungen begonnen, um herauszufinden, ob lokale Temperaturen im Bentonit von bis zu 200 °C toleriert werden könnten, ohne dass sich die sicherheitsrelevanten Eigenschaften wesentlich ändern. Eine Anhebung der Höchsttemperatur ist aus wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Gründen attraktiv, birgt aber die Herausforderung, dass der Bentonit erheblichen Temperaturerhöhungen ausgesetzt wird. Starke thermische Gradienten

können komplexe Feuchtigkeitstransportprozesse auslösen, während geochemische Prozesse wie Zementation und vielleicht auch Illitisationseffekte auftreten können, die alle den Bentonit und die Gesteinseigenschaften im Nahfeld stark beeinflussen könnten.

Hier stellen wir erste Untersuchungen zum Verhalten von Endlagern vor, die stark erhöhten Temperaturen ausgesetzt sind. Wir beginnen mit der Erörterung unserer derzeitigen Wissensbasis zu Temperatureffekten in Endlagern, die einer Maximaltemperatur von 100 °C ausgesetzt sind, basierend auf Daten und zugehörigen Modellierungsanalysen aus einem großen Erhitzerexperiment, das über 18 Jahre lang im Grimsel-Testgelände in der Schweiz durchgeführt wurde. Anschließend werden Ergebnisse von gekoppelten THMC-Simulationen eines Atommülllagers in einer Tonformation vorgestellt, die einer maximalen Temperatur von 200 °C ausgesetzt ist. Wir untersuchen auch vorläufige Daten aus einem Laborexperiment im Labormaßstab, das entwickelt wurde, um die starken THMC-Gradienten darzustellen, die in einem „heißen“ Endlager auftreten, und schließlich gehen wir auf einen Feldheizungsversuch in vollem Maßstab ein, der demnächst im unterirdischen Forschungslabor des Grimsel-Testgeländes in der Schweiz durchgeführt werden soll (HotBENT).

**Financial support.** This research has been supported by the U.S. Department of Energy (grant no. DE-AC02-05CH11231).