



Numerical Analysis of the integrity of potential host rocks – modelling thermo-hydro-mechanical processes in the containment providing rock zone

Carlos Guevara Morel, Jobst Maßmann, and Jan Thiedau

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 30655, Germany

Correspondence: Carlos Guevara Morel (carlos.guevaramorel@bgr.de)

Published: 10 November 2021

Abstract. The disposal of heat-generating nuclear waste in deep geological formations is an internationally accepted concept. Several repository systems are under discussion in Germany, whereby claystone, salt or crystalline rock could act as the host rock. In this contribution we focus on repository systems where the Containment Providing Rock Zone (CRZ) ensures safe enclosure of the waste and thus the geologic barrier is essential. Even though the various rock types considered differ substantially in their mechanical, hydraulic, thermal and chemical behavior, they must all meet the same safety requirements as defined by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) in 2020. As part of these safety requirements, it must be shown that the integrity of the CRZ is guaranteed for the verification period, i.e. the retention of the properties essential for the containment capacities must be demonstrated over 1 million years. Therefore, the formation of new pathways must be avoided and temperature development must not significantly impair the barrier effect. The anticipated stresses and fluid pressures should not exceed the dilatancy strength and the fluid pressure capacity, respectively. In order to assess the compliance of these requirements, numerical modelling is an essential and powerful tool. Even though great progress has been made regarding the efficiency of computational methods, multiphysical modelling on different length scales over long time periods is still a challenging task. Moreover, since readily available solutions do not exist, adapted methods have to be developed and evaluated, in order to verify concepts and numerical implementations.

The BGR gained experience in the field of thermal, hydraulic, mechanical (THM) numerical analysis of the integrity of the CRZ in salt rock and clay stone joined research projects on German disposal options. For crystalline rocks, first concepts are currently being developed within the CHRISTA II project. Compared to clay stone and salt rock, special features have to be taken into account: First of all, crystalline rock is characterized by fractures and other discontinuities. Thus, it cannot be assumed that an undisturbed area of sufficient size can be found for the entire nuclear waste. Consequently, several smaller CRZs must be defined, each providing undisturbed rock. Numerical analysis must deal with smaller CRZs and mechanical and hydraulic boundary conditions that are influenced by fractures. In addition, the processes in the individual CRZs may influence each other (e.g. Temperature distribution). Preliminary modelling approaches and results of numerical THM analyses, considering an upscaled fracture network, are presented.

Kurzfassung. Die Endlagerung von wärmeerzeugenden nuklearen Abfällen in tiefen geologischen Formationen stellt eine international anerkanntes Konzept dar. Verschiedene Systeme zur Endlagerung werden in Deutschland diskutiert, wobei Tongestein, Salz oder kristallines Gestein als Wirtsgestein dienen könnten. In dem vorliegenden Beitrag liegt der Fokus auf den Systemen zur Endlagerung, in denen der einschlusswirksame Gebirgsbereich (ewG) den sicheren Einschluss der Abfälle gewährleistet und somit die geologische Barriere essenziell ist. Obwohl die verschiedenen Gesteinsarten sich substanziell in ihren mechanischen, hydraulischen, thermischen und chemischen Eigenschaften unterscheiden, müssen sie alle die gleichen Sicherheitsanforderungen erfüllen, die durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020

definiert wurden. Als ein Teil dieser Sicherheitsanforderungen muss nachgewiesen werden, dass die Integrität des ewG für den Nachweiszeitraum garantiert ist, d. h., die Beibehaltung der wesentlichen Eigenschaften für die Fähigkeiten zum sicheren Einschluss muss über 1 Mio. Jahre demonstriert werden. Daher muss die Formation neuer Ableitungswege ausgeschlossen sein, und die Temperaturentwicklung darf die Barrierewirkung nicht wesentlich beeinflussen. Die zu erwartenden Spannungen und Flüssigkeitsdrucke sollten die Dilatanzstärke bzw. die Flüssigkeitsdruckkapazität nicht übersteigen. Für die Beurteilung der Einhaltung dieser Anforderungen ist die numerische Modellierung ein wesentliches und leistungsfähiges Instrument. In den vergangenen Jahrzehnten wurden große Fortschritte in der Verbesserung der Effizienz von Berechnungsmethoden erzielt. Trotzdem ist die multiphysikalische Modellierung auf verschiedenen Längenskalen über lange Zeiträume immer noch eine herausfordernde Aufgabe. Folglich gibt es keine Lösungen von der Stange, adaptierte Methoden müssen in Bezug auf den Nachweis der Machbarkeit und die numerische Umsetzung entwickelt und bewertet werden.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) konnte einiges an Erfahrung in Forschungsprojekten, z. B. VSG, ANSICHT, KOSINA und RESUS, im Bereich der thermohydrmechanischen (THM) numerischen Analyse der Integrität des ewG in Salzgestein und Tongestein sammeln. Für kristalline Gesteine werden derzeit erste Konzepte im Rahmen des CHRISTA-II-Projekts entwickelt. Im Vergleich zu Tongestein und Salzgestein müssen dabei spezielle Merkmale berücksichtigt werden: Zunächst einmal sind ein Kennzeichen von kristallinem Gestein das Vorhandensein von Brüchen und anderen Diskontinuitäten. Somit kann nicht angenommen werden, dass ein störungsfreies Gebiet von ausreichender Größe für die gesamten nuklearen Abfälle zu finden ist. Folglich müssen einige kleinere ewG definiert werden, von denen jeder aus störungsfreiem Gestein besteht. Die numerische Analyse muss sich mit kleineren ewG und mechanischen sowie hydraulischen Randbedingungen befassen, die von Brüchen beeinflusst werden. Darüber hinaus beeinflussen sich die Prozesse in den einzelnen ewG möglicherweise gegenseitig, z. B. die Temperaturverteilung. Erste Modellierungsansätze und beispielhafte Ergebnisse numerischer THM-Analysen, in denen das Netz von Brüchen durch Hochskalierung untersucht wird, werden vorgestellt.