

Motivation

Forschung zum und Erfahrung mit dem Tragverhalten von Hohlräumen im Tonsteingebirge haben in den vergangenen Jahrzehnten gezeigt, dass im Porenraum von Tongesteinsformationen bereits primär vorhandenes Formationswasser einen wesentlichen Einfluss auf das Trag- und Deformationsverhalten ausübt. Dasselbe gilt für sekundär entstehende Gase, die in verfüllten Einlagerungshohlräumen bei der Korrosion der metallenen Abfallbehälter entstehen. Die sich in den Porenräumen des Versatzmaterials ansammelnden Gasmengen können im Verlauf der Nachbetriebsphase des Endlagers zunächst im Versatzmaterial und dann im Wirtsgestein zu einem Druckanstieg führen, der das mechanische Verhalten des Wirtsgesteins signifikant beeinflussen kann. Hinzu kommen bedingt durch die Wärmeentwicklung der radioaktiven Abfälle thermische Effekte, die das hydraulische Strömungsverhalten beeinflussen und bei unzureichender Wärmeableitung zum Verdampfen des Porenwassers und damit zu einem zusätzlichen Anstieg des Porendrucks führen.

Aus diesen Gründen muss im Hinblick auf eine das Langzeitverhalten eines Endlagers im Tongestein behandelnde Sicherheitsanalyse das gekoppelte thermisch-hydraulisch-mechanische Verhalten des Tongesteins untersucht sowie physikalisch modelliert werden. Prozessverständnis und physikalische Modellierung sowie numerische Simulation des Endlagersystemverhaltens bei Ansatz thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelter Prozesse mit Zweiphasenfluss (TH²M) sind dann zentraler Bestandteil der Langzeitsicherheitsanalyse.

Vor diesem Hintergrund sind die beiden Hauptziele dieses Forschungsvorhabens (1) die Entwicklung eines Simulators zur Analyse TH²M-gekoppelter Prozesse und (2) die Fortführung von Bohrlochmessungen zur Langzeitanalyse des Gebirgstragverhaltens in Tonsteininformationen und die Vertiefung laborativer Befunde gewesen.

Kontakt

Technische Universität Clausthal (TUC)
Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Lux
E-Mail: lux@tu-clausthal.de

Projektpartner

- Technische Universität Clausthal (TUC), Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik, Clausthal-Zellerfeld
- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH (GRS), Bereich Endlagersicherheitsforschung, Braunschweig

Abschlussbericht

www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/Abschlussberichte-E-Vorhaben.htm



Betreut vom



Die Forschungsarbeiten wurden in dem Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 02E11041 im Zeitraum 2011-2015 durchgeführt.

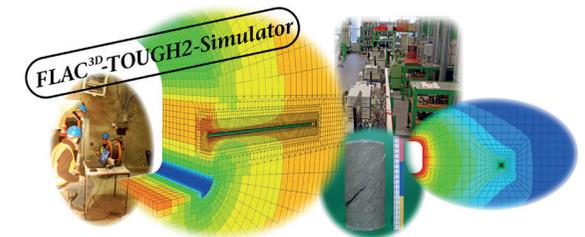
Verantwortlich für den Inhalt, Bilder und Bildrechte sind die Autoren bzw. die ausführenden Forschungsstellen. PTKA übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.
PTKA, 02/2018

Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

Projekt THM-Kopplung FLAC3D-TOUGH2

Kopplung der Softwarecodes FLAC3D und TOUGH2 in Verbindung mit in situ-, laborativen und numerischen Untersuchungen zum thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelten Verhalten von Tongestein unter Endlagerbedingungen

Entwicklung



Validierung

Prognose

Gefördert durch:



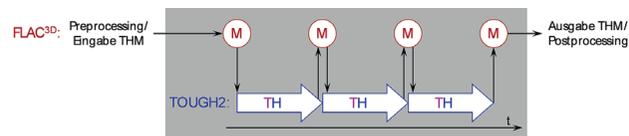
Durchgeführt von:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

THM-Kopplung FLAC3D-TOUGH2

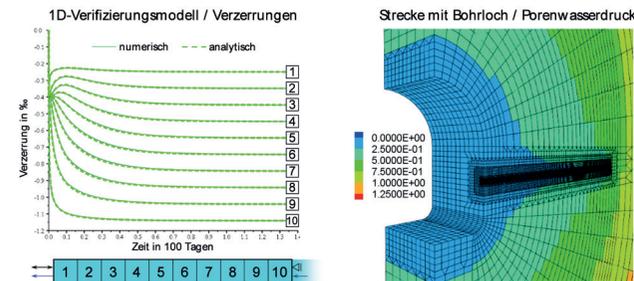
Im Vorhaben ist von der TUC ein THM-Simulator basierend auf der Kopplung der Simulatoren FLAC3D und TOUGH2 zur physikalischen Modellierung und rechnerischen Simulation von geomechanischen Deformations- bzw. thermo-hydraulischen Strömungsprozessen entwickelt worden. Zu Beginn ist dieser FLAC3D-TOUGH2-Kopplungs-Simulator („FTK-Simulator“) auf der hydraulischen Seite auf Einphasenflussprozesse beschränkt gewesen, so dass Verifizierungen anhand von analytischen Lösungen und von Vergleichsberechnungen mit FLAC3D erfolgen konnten. Nach Feststellung seiner Funktionstüchtigkeit ist der FTK-Simulator im Anschluss erfolgreich auf die Berücksichtigung von im Kontext der Endlagerung als signifikant anzusehenden Zweiphasenflussprozessen erweitert worden.



Des Weiteren sind in Fortführung von in vorangegangenen Vorhaben bereits erfolgten Felduntersuchungen Kameraobservationen an bestehenden und neuen Bohrlöchern in Tongesteinsformationen und Kalibermessungen in diesen Bohrlöchern erfolgt. Ziel dieser Arbeiten war die Analyse des Langzeittrag- und -deformationsverhaltens von kleinmaßstäblichen Hohlräumen. Zu einem der neu abgeteufte Bohrlöcher sind im umgebenden Gebirge von der GRS Porenwasserdruckmessungen und zusammen mit der TUC Vergleichsberechnungen zum H²M-gekoppelten Verhalten durchgeführt worden. Darüber hinaus ist Bohrkernmaterial aus den neuen Bohrlöchern für laborative Kurz- und Langzeituntersuchungen auch unter dem Gesichtspunkt des Einflusses der Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft auf das Deformationsverhalten verwendet worden.

Ergebnisse

Verifizierungen unter dem Ansatz hydraulischer Einphasenflussprozesse haben die korrekte Funktionsweise des FTK-Simulators für H²M-Prozesse bestätigen können (Abbildung unten), wobei sich im Vergleich zu FLAC3D auch die Simulationsdauer bei größeren Berechnungsmodellen als beherrschbar gezeigt hat. In diesem Vergleich ist der zeitliche Mehraufwand des FTK-Simulators zu Simulationsbeginn, der in den hier stärker vorhandenen mechanischen und hydraulischen Ungleichgewichten begründet ist, durch eine später gegenüber FLAC3D beschleunigte Berechnung signifikant überkompensiert worden.

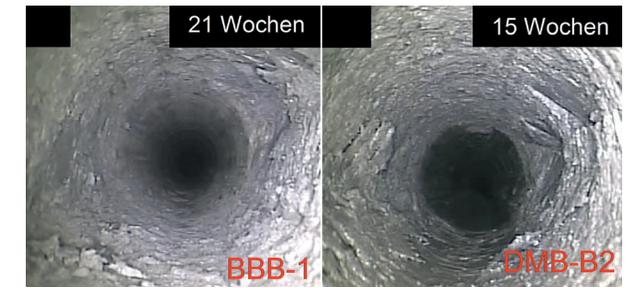


Erste Arbeiten zur Verifizierung und Validierung des FTK-Simulators unter dem Ansatz von Zweiphasenflussprozessen anhand der Messergebnisse der GRS haben aufgezeigt, dass hier noch vertiefter Bedarf an einer Sicherstellung der korrekten Funktionsweise des Simulators besteht.

Die Feldanalysen haben für die neuen Bohrlöcher generelle Verhaltensmuster vergleichbar mit denen der bereits bestehenden Bohrlöcher ergeben. Insbesondere die Stabilitätsunterschiede in unterschiedlichen Fazies der Lokation Mont Terri und ihre zeitabhängigen Effekte haben sich z.B. in DMB-B2 als übereinstimmend mit denen in BBB-1 gezeigt (Abbildung rechts). In der bis dato weniger untersuchten sandigen Fazies konnten verstärkt Sickerwasserzutritte festgestellt werden. Des Weiteren ist auch in Bohrlöchern in verfestigtem Tongestein der Lokation Tournemire eine für dieses Gestein unerwartete hydraulische

Aktivität beobachtet worden.

In einaxialen Langzeituntersuchungen unter variierten, aber konstanten Luftfeuchtigkeiten an Prüfkörpern der Lokation Mont Terri konnten weder Anzeichen für Desintegrations- noch für stationäre Kriechprozesse abgeleitet werden. Auch eine Abhängigkeit des Deformationsverhaltens von der Luftfeuchtigkeit ist lediglich für hohe Werte von über 95% festgestellt worden, bei denen Quellungsprozesse zu Prüfkörperextensionen führen.



Was folgt daraus?

Der FTK-Simulator ermöglicht numerisch effektive THM-gekoppelte Prozessanalysen für Endlagerteilsysteme und behebt dabei mit der TH²M-Prozessmodellierung eine wesentliche Lücke von FLAC3D in der Endlagersimulation.

Zur umfassenden Verifizierung und Validierung des FTK-Simulators sind dabei insbesondere hinsichtlich von TH²M-Prozessen zukünftig weitere Arbeiten erforderlich, die u.a. im nachfolgenden Benchmarking-Projekt „BenVaSim“ erfolgen sollen. Die Beobachtung des Langzeitverhaltens im Tongestein hat sich als reproduzierbar erwiesen. Das Langzeitverhalten in der Lokation Mont Terri ist abhängig von den Gegebenheiten an der jeweiligen Position im Gebirge (Fazies, Feuchtigkeitszutritte, sich fortplanzende Bruchbereiche), aber anscheinend weniger von zeitabhängigen Kriechprozessen.