



3. Fachworkshop der Bundesgesellschaft für Endlagerung
12. bis 14. Dezember 2019 | Haus der Wissenschaft | Braunschweig

TAGUNGSBAND

Stand Digitalversion: 11.12.2019

Tage der Standortauswahl
12. bis 14. Dezember 2019 in Braunschweig
Tagungsort: Haus der Wissenschaft
Pockelstraße 11, 38106 Braunschweig

Inhaltsverzeichnis

I. Grußwort der BGE Geschäftsleitung	3
II. Raumhinweis & Rahmenprogramm	4
Raumhinweis	4
Rahmenprogramm	4
III. Programm	5
Donnerstag, 12. Dezember 2019.....	5
Reihenfolge Postersession der Lehr- und Forschungseinrichtungen.....	6
Freitag, 13. Dezember 2019	9
Reihenfolge wissenschaftlicher Kurzvorträge aus aktuellen Forschungsprojekten.....	10
Samstag, 14. Dezember 2019.....	11
IV. Abstracts	12

I. Grußwort der BGE Geschäftsleitung

Bis zum Jahr 2031 soll ein Standort für ein tiefengeologisches Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland gefunden werden. Den Weg bis zur Entscheidung über einen Standort durch den Bundestag legt das Standortauswahlgesetz fest: partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent, selbsthinterfragend und in einem lernenden Verfahren. Dafür definiert das Gesetz eine Vielzahl von wissenschaftlich fundierten Kriterien und Anforderungen. So ist schon zu Beginn des Verfahrens festgelegt, wie wir die Suche immer weiter eingrenzen und schlussendlich zu einem sicheren Endlagerstandort für Deutschland kommen. Die Basis für den Suchprozess steht also schon zu Beginn des Verfahrens fest.

Für die Umsetzung im Detail sind aber noch viele Fragen ungeklärt. Hier setzen wir unsere Hoffnungen in die wissenschaftliche Gemeinschaft, auf Ihre Kreativität und Innovationskraft, mit der Sie Antworten auf unsere komplexen Fragen finden.

Wir freuen uns über das Interesse an den "Tagen der Standortauswahl", einen intensiven Austausch und wünschen uns, dass diese Veranstaltung einen Auftakt für einen regelmäßigen Wissenschaftskongress zu Endlagerfragen markiert.

Wir freuen uns auf Ihre Beiträge!



Steffen Kanitz

Stellv. Vorsitzender der Geschäftsführung (BGE mbH)

II. Raumhinweis & Rahmenprogramm

Raumhinweis

Alle Vorträge und Posterpräsentationen finden in der Aula (3./4. OG.) statt.

Rahmenprogramm

Poster und Informationsangebote:

- **BGE Infos**
(*Donnerstag bis Samstag im Erdgeschoss*)
- **BGE Poster** zur Anwendungsmethodik der Kriterien und Anforderungen gemäß Standortauswahlgesetz (*nur Samstag in der Aula*)
- **Ausstellung „Suche:x“ des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE)**
(*Donnerstag bis Samstag im Erdgeschoss*)

III. Programm

Donnerstag, 12. Dezember 2019

- 10:00 – 10:20 Uhr **Begrüßung**
- 10:20 – 11:30 Uhr **Fachvorträge**
- Prof. Dr. habil Oliver Sträter** (Uni Kassel)
„Aspekte menschlicher Zuverlässigkeit in der Standortauswahl – Methoden und Ansätze“
- Prof. Dr. Florian Wellmann Ph.D** (RWTH Aachen)
„Geologische Modellierung und Quantifizierung von Unsicherheiten“
- 11:30 – 11:50 Uhr Kaffeepause (Foyer 1.OG)
- 11:50 – 13:00 Uhr **Fachvorträge**
- PD Dr. Wolfram Rühaak** (BGE mbH)
„Methodische Überlegungen zur Einbeziehung von Ungewissheiten bei der Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen“
- Prof. Dr. Thomas Nagel** (TU Freiberg)
„Herausforderungen in der THMC Modellierung für die Endlagerforschung“
- 13:00 – 14:00 Uhr Mittagspause (Besuch der Mensa)
- 14:00 – 15:10 Uhr **Fachvorträge**
- Prof. Dr. Stefan Buske** (TU Bergakademie Freiberg)
„Seismische Abbildung der Erdkruste“
- Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann** (TU Braunschweig)
„Endlagerung mit Rückholoption – gebirgsmechanische Erfordernisse und Konsequenzen“
- Postersession der Lehr- und Forschungseinrichtungen**
- 15:10 – 16:30 Uhr **Kurzvorstellung der Poster** (Details auf der nächste Seite)
- 16:30 – 17:00 Uhr Kaffeepause (Foyer 1.OG) & Umbaupause (Aula)
- 17:00 – 18:45 Uhr **Postersession** (Details auf der nächste Seite)
- 18:45 Uhr Abendessen (Catering vor Ort, Foyer 1.OG)

Reihenfolge Postersession der Lehr- und Forschungseinrichtungen

Poster- nummer	Erstautor	Postertitel
P01	F. Jähne-Klingberg	Großräumige Vertikalbewegungen Deutschlands: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft?
P02	J. Lippmann-Pipke	Altersbestimmung von Grundwasser – Chancen während der übertägigen Erkundung
P03	K. Müller	Neotectonics and paleoseismicity - The reactivation potential of faults in northern Germany due to glacial isostatic adjustment
P04	K. Pusacker	Känozoische Bruchschollentektonik und Vertikalbewegungen des Untergrundes in der Niederrheinischen Bucht
P05	H. Stück	Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“
P06	M. Navarro	Indikatoren zum Nachweis der Isolation und des Einschusses („contain and isolate“)
P07	A. Hördt	Angewandte Geophysik an der TU Braunschweig - Abschätzung von Gesteinseigenschaften aus elektrischen Messungen
P08	J. Eckel	Integritätskriterien für ein Endlagersystem im Kristallingestein
P09	K. Reinhold	Interdisziplinäre Forschung der BGR zu flach lagernden Steinsalzlagern in Deutschland
P10	S. Kaufhold	18 Jahre Bentonitforschung der BGR
P11	S. Lüth	Seismic Characterization of Opalinus Clay at the Scale of an Underground Rock Laboratory (URL) in Mont Terri – the iCross Project
P12	A. Skerencak-Frech	Sorption von dreiwertigen Actiniden und Lanthaniden an Tonmineralien bei niedrigen und mittleren Ionenstärken
P13	L. Winhausen	Water permeability of Opalinus Clay determined by different methods – A comparative experimental study
P14	J. von Harten	Räumliche Interpolation und Simulation geologischer Eigenschaften unter Berücksichtigung regionaler Deformation
P15	M. Bjorge	Geological Models and Uncertainties and their impact on Safety Assessments of high-level nuclear waste repositories

Poster- nummer	Erstautor	Postertitel
P16	E. Heim	Kartierte vs. simulierte Unsicherheiten: Welche Aspekte von Unsicherheiten in geologischen Modellen können mit stochastischen Simulationen erfasst werden?
P17	S. Ahlers	Projekt SpannEnD – 3D Modellierung des tektonischen Spannungsfeldes von Deutschland
P18	S. Morawietz	Datenbank zu Magnituden von Gebirgsspannungen in Deutschland
P19	M. Ziegler	Quantifizierung von Unsicherheiten in 3D geomechanisch-numerischen Modellen des Spannungsfeldes
P20	H. Albers	Fighting Fake Facts mit FAIRen Forschungsdaten - Datenmanagement in der BGR für die geowissenschaftliche und geotechnische Standorterkundung sowie internationaler Endlagerforschungsarbeiten
P21	D. Fellhauer	Vergleichende Beurteilung der Löslichkeit von Radionukliden für verschiedene generische Tiefenendlager-Bedingungen
P22	U. Noseck	Model calculations for radionuclide and colloid transport in a granitic shear zone at the Grimsel test site (CFM-Project und KOLLORADO-e3)
P23	D. Bosbach	iCross - Integrity of nuclear waste repository systems – cross-scale system understanding and analysis – a new collaborative project in the Helmholtz Association
P24	C. Büttner	Detektion von Rissen und Fehlstellen in Verschlussbauwerken unter Tage mittels seismischer Abbildungsverfahren
P25	I. Kock	VerSi – eine Methode zum Vergleich von Endlagerstandorten
P26	S. Chaudry	Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA)
P27	S. Bremer	Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS): HANDlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren (TAP HAFF) - Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung für die Gestaltung obertägiger Bauwerke am Endlagerstandort
P28	I. Epkenhans	WEIMOS - Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz.

Poster- nummer	Erstautor	Postertitel
P29	V. Mintzlauff	Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS): Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen (TAP TRUST) - Rückholung hochradioaktiver Abfälle: Unbestimmbarkeit, Unsicherheit im Kontext zu Vertrauen

Freitag, 13. Dezember 2019

09:00 – 09:15 Uhr	Begrüßung
09:15 – 09:50 Uhr	Fachvortrag von Dr. Jörg Mönig (GRS) <i>„Sicherheitsgerichtete Abwägung von Teilgebieten im Standortauswahlverfahren – Empfehlungen aus dem Vorhaben RESUS“</i>
09:50 – 10:35 Uhr	Wissenschaftliche Kurzvorträge aus aktuellen Forschungsprojekten
10:35 – 11:00 Uhr	Kaffeepause (<i>Foyer 1.OG</i>)
11:00 – 12:30 Uhr	Fortsetzung wissenschaftliche Kurzvorträge aus aktuellen Forschungsprojekten
12:30 – 13:30 Uhr	Mittagspause (<i>Catering vor Ort, Foyer 1.OG</i>)
13:30 – 14:15 Uhr	Fortsetzung wissenschaftliche Kurzvorträge aus aktuellen Forschungsprojekten
14:30 – 15:30 Uhr	Vorträge „Status Ermittlung von Teilgebieten“ <ul style="list-style-type: none">• <i>Aktueller Stand der Arbeiten</i>• <i>Vorstellung und Diskussion Anwendungsmethodik</i>• <i>Weitere Themen</i>
15:30 – 16:00 Uhr	Kaffeepause (<i>Foyer 1.OG</i>)
16:00 – 16:55 Uhr	Fortsetzung Vorträge „Status Ermittlung von Teilgebieten“
16:55 – 17:15 Uhr	Schweizer Gastbeitrag von Dr. Tim Vietor (NAGRA) <i>„Die kriteriengestützte Auswahl des besten Lagerstandortes für die radioaktiven Abfälle der Schweiz“</i>
17:15 – 18:15 Uhr	offene Diskussionsrunde / Brainstorming
18:15 Uhr	Abendessen (<i>Catering vor Ort, Foyer 1.OG</i>)

Reihenfolge wissenschaftlicher Kurzvorträge aus aktuellen Forschungsprojekten

Beginn	Erstautor	Vortragstitel
09:50 Uhr	May, F.	Vulkane – die Spitze des Eisbergs tieferreichender magmatischer Prozesse
10:05 Uhr	Heidbach, O.	Das Ausschlusskriterium Seismische Aktivität kritisch kommentiert
10:20 Uhr	Baumann, T.S.	Langzeitsicherheit eines Endlagers: Die Vorhersage der geologischen Entwicklung des Wirtsgesteins und damit verknüpfte Ungewissheiten
11:00 Uhr	Flügge, J.	Umgang mit geklüfteten Medien in Langzeitsicherheitsanalysen
11:15 Uhr	Walther, C.	Transport- und Transferverhalten langlebiger Radionuklide entlang der kausalen Kette Grundwasser-Boden-Oberfläche-Pflanze unter Berücksichtigung langfristiger Veränderungen (Trans-LARA)
11:30 Uhr	Altmaier, M.	Geochemische Rückhaltung von Radionukliden im Endlagernahfeld
11:45 Uhr	Fink, R.	How does burial history influence the petrophysical properties of Jurassic shales? – Implications for radioactive waste storage in the Lower Saxony Basin
12:00 Uhr	Laurich, B.	Risse im Tonstein - Auswirkungen für die Endlagerung?
12:15 Uhr	Schäfer, T.	Grimsel Felslabor: In-situ Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit – Kristallin (KOLLORADO-e3)
13:30 Uhr	Herold, P.	Auslegungsanforderung Rückholbarkeit – Technische Konzepte und Auswirkungen auf die Endlagerauslegung
13:45 Uhr	Czaikowski, O.	Qualifizierung von gekoppelten Prozessmodellen
14:00 Uhr	Sass, I.	Untergrundmodell Hessen 3D und Hessen 3D 2.0
14:15 Uhr	Reiter, K.	Projekt SpannEnD – Spannungsmodell Endlagerung Deutschland

Samstag, 14. Dezember 2019

- 10:00 – 10:30 Uhr **Begrüßung und Einführung**
- 10:30 – 11:00 Uhr **Einführung in die Ausschlusskriterien**
- 11:00 – 12:30 Uhr **Diskussionsforum „Ausschlusskriterien“**
(Posterpräsentationen mit offenen Diskussionsrunden)
- 12:30 – 13:30 Uhr Mittagspause (*Catering vor Ort, Foyer 1.OG*)
- 13:30 – 14:00 Uhr **Einführung in die Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien**
- 14:00 – 15:30 Uhr **Diskussionsforum „Mindestanforderungen und geowissenschaftliche Abwägungskriterien“**
(Posterpräsentationen mit offenen Diskussionsrunden)
- 15:30 – 16:30 Uhr **Fazit & offene Diskussionsrunde**
- 16:30 Uhr Ende der Veranstaltung „Tage der Standortauswahl“

IV. Abstracts

Steffen Ahlers¹, Luisa Röckel², Andreas Henk¹, Karsten Reiter¹, Tobias Hergert¹, Birgit Müller², Frank Schilling², Oliver Heidbach³, Sophia Morawietz³, Magdalena Scheck-Wenderoth³, Denis Anikiev³

¹ – Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Darmstadt

² – Institut für Angewandte Geowissenschaften, KIT, Karlsruhe

³ – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam

⁴ – TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften

Projekt SpannEnD – 3D Modellierung des tektonischen Spannungsfeldes von Deutschland

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl eines potentiellen Endlagerstandortes für Atommüll ist das Spannungsfeld der Erdkruste. Es gibt jedoch nur wenige, unvollständige und heterogen verteilte Informationen zum Spannungsfeld. Um eine kontinuierliche Vorhersage des Spannungsfeldes zu erhalten, ist ein geomechanisch numerisches Modell notwendig. Hauptziel des SpannEnD-Projektes ist es deshalb ein solches Modell zu erstellen. Das Modellgebiet umfasst ein 3D lithosphärenskaliges Strukturmodell Deutschlands und ein Gebiet von 1000 x 1250 km² ab. Die Modellgrenzen liegen deutlich außerhalb Deutschlands, um Randeffekte zu minimieren. Die Grenzen wurden anhand des bekannten Spannungsfeldes aus den Daten des World Stress Map Projektes senkrecht oder parallel zur Orientierung der größten horizontalen Spannung S_{Hmax} definiert, wodurch ein pentagonförmiges Modellgebiet entstanden ist. Vertikal erstreckt sich das Modell bis in eine Tiefe von 100 km und umfasst zurzeit vier Schichten. Die sedimentäre Bedeckung, das kristalline Grundgebirge (obere Kruste), die untere Kruste und Teile des lithosphärischen Mantels. Die laterale Auflösung nach der Diskretisierung in Finite Elemente, die Methode mit der das numerische Problem gelöst wird, beträgt 6 x 6 km², die vertikale Auflösung nimmt von ca. 600 m im oberen Teil des Modells auf ca. 7.500 m an der Basis des Modells ab. Im weiteren Verlauf des SpannEnD-Projektes soll dieses Gitternetz weiter verfeinert und die Anzahl der Schichten, insbesondere innerhalb der Sedimente, noch deutlich erhöht werden. Für die Kalibrierung des Modells wird eine Spannungs-Magnituden-Datenbank verwendet, die im Zuge des SpannEnD-Projektes aufgebaut wird (siehe Poster von Morawietz et al.).

Danksagung: Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung des SpannEnD-Projektes beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen: 02E11637A), sowie dem Projektträger Karlsruhe für die Betreuung des Projektes.

Hendrik Albers, Gerhard Arns–Krogmann, Benjamin Paul

¹ – *Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Darmstadt*

² – *Institut für Angewandte Geowissenschaften, KIT, Karlsruhe*

³ – *Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam*

⁴ – *TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften*

Fighting Fake Facts mit FAIRen Forschungsdaten – Datenmanagement in der BGR für die geowissenschaftliche und geotechnische Standorterkundung sowie internationaler Endlagerforschungsarbeiten am Beispiel des In-Situ Informationssystems (INIS) und des künftigen Datenmanagementsystems (DAMAST)

Das Datenmanagement der BGR verfolgt im Standortauswahlverfahren gemäß dem DFG Kodex zur „guten wissenschaftlichen Praxis“ (2019)¹ die Zielsetzungen der FAIR Data Principles von Wilkinson, M.D. et al. (2016)² sowie den technischen Richtlinien vom BSI, TR-03125 zur beweiswerterhaltenden Langzeitarchivierung³. INIS und DAMAST sind langfristige Data Repositorys, die in Zeiten von Fake News und Fake Facts als verlässliche und vertrauenswürdige Wissensspeicher aufgebaut und FAIR sind im Sinne von:

Findable – Alle internen und externen geowissenschaftlichen Daten werden zentral registriert und administriert. Neben der Anreicherung von fachlichen sowie administrativen Metadaten erfolgt die Datenverknüpfung über persistente und weltweit eindeutige IDs (z.B. DOI, UUID, IGSN und Hashwerte). D.h. wer z.B. einen Bericht findet, findet auch die Messwerte bzw. Rohdaten dazu.

Accessible – Dem Ansatz wohnt der Open Data und Open Access Gedanke inne, die zusammen die geforderte Transparenz im Standortauswahlverfahren garantieren. Nicht nur alle Mitarbeiter der BGR bekommen Zugang, sondern standardisierte Schnittstellen garantieren den automatischen Datenaustausch mit BGE, BfE und Öffentlichkeit.

Interoperable – Etablierte Standards zu Metadaten (z.B. ISO 19115, RE3Data Scheme), Schnittstellen (z.B. Geodatendienste, REST-API), Datenformate (XML) werden konsequent implementiert. Aber auch die Integration neuer Ansätze aus dem Bereich des Semantik Webs (z.B. RDF) werden geprüft und umgesetzt.

Reusable – Forschungsdaten sind nur dann verständlich und nachnutzbar, wenn ihre Herkunft, Erfassungsmethodik und Nutzungsrechte bekannt sind, die in Metadaten speicherbar sind. Die beweiswerterhaltende Langzeitarchivierung beim Digitalen Zwischenarchiv des Bundes (DZAB) garantiert darüber hinaus die Manipulationssicherheit, Integrität und Vertraulichkeit.

¹ Deutsche Forschungsgemeinschaft (2019): Leitlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis – Kodex

² Wilkinson, Mark D.; Dumontier, Michel; Aalbersberg, IJsbrand Jan; Appleton, Gabrielle; et al. (2016): "The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship"

³ Das Bundesarchiv (13.11.2019): "Digitales Zwischenarchiv des Bundes" (abgerufen am 13.11.2019)

M. Altmaier, V. Metz, H. Geckeis

¹ – *Institut für Nukleare Entsorgung, KIT, 76344 Eggenstein–Leopoldshafen*

Geochemische Rückhaltung von Radionukliden im Endlagernahfeld

Zur Bemaßung des einschlußwirksamen Gebirgsbereichs in unterschiedlichen Konzepten für ein Endlager für insbesondere hochradioaktive Abfälle können Kenntnisse zum (geo)chemischen Verhalten der Radionuklide unter Nahfeldbedingungen einen wichtigen Beitrag leisten. Das zentrale Argument hierbei ist die belastbare Beschreibung und Quantifizierung von Prozessen, welche zu einer Rückhaltung (bzw. Mobilisierung) von Radionukliden im direkten Nahfeld der Abfälle führen. Aus geochemischer Sicht sind hierbei verschiedene Aspekte zu analysieren, die die unterschiedlichen Prozesse berücksichtigen, die für das jeweilige System relevant sind und die von der Art des Wirtsgesteins und der konkreten Auslegung eines Endlagers abhängen.

Innerhalb des Beitrags soll anhand von ausgewählten Beispielen aus aktuellen Forschungsarbeiten im nationalen und internationalen Kontext aufgezeigt werden, welche Hauptfaktoren die Rückhaltung der Radionuklide im Nahfeld bestimmen. Hierbei wird (i) auf das Verhalten hochradioaktiver Abfallformen bei Wasserzutritt eingegangen (abgebrannte Kernbrennstoffe und verglaste Wiederaufarbeitungsabfälle), (ii) Methoden zur Ableitung löslichkeitskontrollierter Radionuklidkonzentrations-Obergrenzen dargestellt, und (iii) die Rückhaltung von Radionukliden durch Wechselwirkung (Sorption, Einbau) an Mineraloberflächen diskutiert. Der Beitrag wird durch orientierende Überlegungen zu möglichen zukünftigen Forschungsarbeiten zur Verbesserung des Kenntnisstands im o.g. Kontext ergänzt.

Tobias S. Baumann¹, Boris J.P. Kaus¹, Anton A. Popov¹, Dominik Jany¹

¹ – Johannes Gutenberg Universität Mainz, Institut für Geowissenschaften, AG Geodynamik Geophysik

Langzeitsicherheit eines Endlagers: Die Vorhersage der geologischen Entwicklung des Wirtsgesteins und damit verknüpfte Ungewissheiten

Die geologische Barriere des gesuchten Endlagers soll über den Zeitraum von einer Millionen Jahre sicher sein. Aus Sicht des Ingenieurs ist dies sicherlich ein langer Zeitraum, aber auch Geowissenschaftlern bereitet die Langzeitvorhersage der geologischen Entwicklung des Wirtsgesteins Kopfzerbrechen.

Wir begegnen dieser Problemstellung mit geodynamischen Langzeitsimulationen und widmen uns insbesondere den Ungewissheiten, die diesen Modellen zugrunde liegen. Welche Differenzialspannungen können im Wirtsgestein auftreten, und wie sind sie verteilt und ausgerichtet? Welchen Einfluss haben dabei die tektonischen Randbedingungen, sowie die viskosen, elastischen und plastischen Gesteinseigenschaften, im Wirtsgestein selbst sowie im Deckgebirge? Was ist der Einfluss von zusätzlicher Auflast auf das Deckgebirge während Kaltzeiten durch Gletscher? Ist es möglich robuste Muster zu erkennen, die uns helfen bestimmte Bereiche im Wirtsgestein für ein Endlager auszuschließen oder charakteristische Gesteinsformationen zu finden, die aufgrund ihrer Geometrie besser geeignet sind als andere? Welches sind die Schlüsselparameter in den Modellsimulationen, die entscheidenden Einfluss auf die Vorhersage haben? Wie können wir Großrechner nutzen und Machine-Learning Methoden einsetzen, um die Ungewissheiten der Vorhersage einzugrenzen?

Diese und weitere Fragestellungen möchten wir in unserem Beitrag beleuchten und unsere aktuelle Forschungsprojekte, sowie unsere numerischen Werkzeuge vorstellen, die in diesem Zusammenhang relevant sind.

Merle Borge^{1,2}, Florian Wellmann¹, Wolfram Rühak²

¹ – Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES), RWTH Aachen

² – Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Geological Models and Uncertainties and their impact on Safety Assessments of high-level nuclear waste repositories

Safety assessments are a central part in nuclear waste management and include the analysis of thermo-mechanically (TM) coupled processes. TM behavior of the host rock is, amongst others, dependent of the prevalent geological geometries.

To analyze the influence of geological geometries on TM behavior in claystone, a model of the region of the Mont Terri rock laboratory was created. First, a 3-d structural geological model was created with *GemPy*. Furthermore, uncertainties of the locations of lithological contacts are quantified by means of probabilistic graphical models in *GemPy*. To analyze the effect of the geometry and its uncertainties on TM behavior in the Opalinus Clay, the 3-d geological model is transferred to a numerical model in *Matlab*. In this numerical model, 2D TM coupled simulations are performed using the the Finite Element Method. To simulate a heat source of nuclear waste, a Dirichlet boundary condition of 100°C is set on the lower edge of the model while the remaining rock is initially in geothermal equilibrium. The difference in stress, resulting from the temperature increase, is studied particular in regard to the integrity of the rock. As probabilistic approach, to quantify the effect of the uncertainties, the TM simulations are performed in combination with the Monte Carlo Method.

In this study it is expected to see whether differences in resulting stresses are observed in respect to different model geometries and if so, how 3-d model uncertainties impact the stress results. Furthermore, it is aimed to analyze the effect and consequence of temperature increase and stress on the host rock integrity in respect to safe disposal of high level nuclear waste.

Dirk Bosbach¹, Horst Geckeis², Olaf Kolditz³, Michael Kühn⁴, Thorsten Stumpf⁵

¹ – *Institute of Energy and Climate Research (IEK-6): Nuclear Waste Management and Reactor Safety, Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)*

² – *Institute for Nuclear Waste Disposal, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)*

³ – *Department of Environmental Informatics, Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ)*

⁴ – *Department Geochemistry, GFZ German Research Centre for Geosciences*

⁵ – *Institute of Resource Ecology, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)*

iCross – Integrity of nuclear waste repository systems – cross-scale system understanding and analysis – a new collaborative project in the Helmholtz Association

A reliable and consistent assessment of the safety of a deep geological repository for heat generating radioactive waste over time scales of hundred thousands of years requires an advancement of process understanding and simulation tools for a close-to-reality description of repository evolution scenarios. This is notably required due to the challenging task to compare and assess the safety of different repository concepts in different host rocks within the German site selection process. The aim of the iCross project, jointly funded by the Federal Ministry of Education and Research and the Initiative and Networking Fund of the Helmholtz Association, is to provide a holistic scientific view onto repository system evolution and to describe and analyse the integrity of nuclear waste repository systems across scales. Within iCross, an in-depth understanding of coupled physical, chemical and microbiological processes provided by dedicated experiments on the laboratory scale and in underground research laboratories – including radionuclides and radioactive waste forms, site characterization and system monitoring is synergistically connected to highly sophisticated numerical simulations up to the visualization and analysis of complex repository system evolutions. This multidisciplinary project combines research competencies of five Helmholtz centres related to the topics nuclear sciences, radio(geo)chemistry, geosciences, biosciences and environmental simulations in a unique coordinated collaborative activity. As full members of the international Mt Terri consortium, the iCross partners develop and perform in-situ URL experiments and, thus, set one focus on investigations of processes in a tentative repository in clay rock. Priority studies will deal with (i) the migration of radionuclides and gases across the canister-bentonite interface in the evolving nuclear waste repository near field and (ii) the heterogeneity of the Opalinus clay sandy facies and its impact on radionuclide mobility across scales.

Sina Bremer, Thorsten Leusmann, Dirk Lowke

¹ – Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Beethovenstraße 52, 38106 Braunschweig

Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS): HandlungsFähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren (TAP HAFF) – Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung für die Gestaltung obertägiger Bauwerke am Endlagerstandort

Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung für die Gestaltung obertägiger Bauwerke am Endlagerstandort

In TRANSENS wird transdisziplinär geforscht. Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte und in transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden.

Flexibilität statt linearer Ablauf des Verfahrens: schrittweises Vorgehen, Haltepunkte im Verfahrensablauf, die Option von begründeten Rückschritten und die Reaktion auf neue Forschungsergebnisse sind die Themen im transdisziplinären Arbeitspaket (TAP) HAFF.

Das Poster stellt das Arbeitsprogramm des Institutes für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) innerhalb TRANSENS vor. Das iBMB analysiert obertägige Lagerungskonzepte für hochradioaktive Abfälle und entwickelt daraus in einem transdisziplinären Verfahren idealtypische Konzepte für obertägige Anlagen von Tiefenlagern bestehend aus Eingangslager mit Konditionierungsanlage sowie dessen Infrastruktur und der baulichen Transportinfrastruktur unter Tage.

Besonders geeignete Konzepte werden in 3D in einer interaktiven virtuellen Umgebung visualisiert (VR). Bei der Ausgestaltung der Konzepte liegt der Fokus auf Monitoring, Rückholbarkeit, Ökobilanz und Baukosten. Wesentliches Element ist dabei ein lernfähiges Lebenszyklusmanagementsystem, mit dem zu jedem Zeitpunkt der aktuelle bauliche Zustand der Infrastruktur bewertet werden kann. Diese Informationen können dann an etwaigen Haltepunkten im weiteren Entscheidungsprozess berücksichtigt werden.

Christoph Büttner¹, Ernst Niederleithinger², Stefan Buske¹

¹ – *Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg*

² – *Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin*

Detektion von Rissen und Fehlstellen in Verschlussbauwerken unter Tage mittels seismischer Abbildungsverfahren

Das zu präsentierende Poster beschäftigt sich mit der seismischen Abbildung tiefliegender Reflektoren in einem Verschlussbauwerk aus Salzbeton. Dieses befindet sich als In-Situ Versuch im Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle Morsleben. Um die angewandte Bauweise in Bezug auf Wasserdichtheit einschätzen zu können, wurde das Versuchsobjekt hinsichtlich des Vorhandenseins und der Orientierung von Rissen mit Ultraschall untersucht. Für die Datenakquisition fand ein neuartiges Messsystem Anwendung, mit welchem ein seismisches Akquisitionsschema realisiert werden kann. Dieses setzt sich aus mehreren Prüfköpfen zusammen, welche sowohl als Sender als auch als Empfänger fungieren. Somit lassen sich auch größere Sender-Empfänger-Abstände erreichen. Nach der Bearbeitung eines synthetischen Datensatzes wurden reale Messdaten mittels Kirchhoff- und Reverse Time Migration (RTM) in Tiefensektionen umgewandelt. Zusätzlich wurden die Ergebnisse mit bereits vorhandenen Rekonstruktionen verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass der RTM Algorithmus in einigen Fällen ein realitätsnaheres Abbild liefert. Beide Verfahren lokalisierten übereinstimmend Risse in verschiedenen Tiefenlagen, welche hauptsächlich oberflächenparallel orientiert sind. Diese werden auch von Bohrungen bestätigt. Besonders herauszustellen ist die Abbildung eines Trennbleches in großer Tiefe, was bisher noch nicht eindeutig gelungen war.

Saleem Chaudry¹, Angelika Spieth-Achtnich¹, Wilhelm Bollingerfehr²

¹ – Öko-Institut e. V.

² – BGE TECHNOLOGY GmbH

Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA)

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Förderkennzeichen 02E11789

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Forschungsvorhaben WERA verfolgt das Ziel, Handlungsoptionen und -bedarfe in Bezug auf Entsorgungswege für abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle aufzuzeigen. Es will damit eine Basis schaffen, die Integration der verschiedenen Entsorgungsschritte (Zwischenlagerung, Konditionierung, Transporte bis hin zur Endlagerung) aktiv zu gestalten.

Zunächst werden verschiedene mögliche Optionen zur Ausgestaltung der Entsorgungsschritte auf dem Weg vom Ist-Zustand bis zum verschlossenen Endlager identifiziert und beschrieben. Die Kombination dieser Optionen und eine anschließende planspielähnliche Analyse von Wenn-Dann-Beziehungen dienen der Entwicklung plausibler Management-Szenarien. Dabei werden interne und externe Einflussfaktoren, wie z. B. alterungsbedingte Veränderungen an Transport- und Lagerbehältern oder eine Entscheidung für einen Endlagerstandort, und deren Variationsmöglichkeiten ausgewiesen. Ungewissheiten werden benannt und entscheidungsrelevante Punkte im Entsorgungsprozess markiert.

Die Identifizierung von Handlungsoptionen und -bedarfen mit jeweils zu berücksichtigenden Voraussetzungen und Randbedingungen ermöglicht die Formulierung von Aufgaben und Zielen für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen. In einem Stakeholder-Workshop werden die vorläufigen Ergebnisse zur Diskussion gestellt. Anregungen aus diesem Workshop helfen bei der Finalisierung des Vorhabens.

Oliver Czaikowski, Kyra Jantschik, Thorsten Meyer

¹ – Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH Theodor-Heuss-Strasse 4, 38122 Braunschweig

Qualifizierung von gekoppelten Prozessmodellen

Bei der modelltheoretischen Betrachtung relevanter Prozesse mit Bezug zur Endlagerung radioaktiver wärmeentwickelnder Abfälle werden heutzutage gekoppelte Prozessmodelle eingesetzt, die eine Vielzahl von thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischen (THMC) Einwirkungen berücksichtigen können.

Der Schwerpunkt der Prozessmodelle lag in der Vergangenheit einerseits bei der modelltheoretischen Abbildung geochemischer und hydraulischer (CH) Prozesse, die beispielsweise bei einem Zutritt korrosiver Lösungen zu erwarten sind. Auf der anderen Seite sind umfangreiche Arbeiten zur Qualifizierung physikalischer Modelle durchgeführt worden, die die thermisch-hydraulisch-mechanischen (THM) Einwirkungen von Auffahrung, Einlagerung und Nachverschlussphase der Endlagerbauten auf das Gebirge abbilden sollen.

Um das Langzeitverhalten eines geotechnischen Verschlussbauwerkes prognostizieren zu können, ist es von essentieller Bedeutung die Wechselwirkungen von THMC-Prozessen grundlegend zu verstehen, da sich die einzelnen Prozesse und deren Zusammenwirken sowohl positiv als auch negativ in Hinblick auf die Dichtfunktion des Verschlussbauwerkes auswirken können.

Hierzu ist es nicht ausreichend, ein Simulationswerkzeug einzusetzen, das über die gängigen Prozessgleichungen verfügt und diese numerisch miteinander koppelt. Um das aus einer Vielzahl von gekoppelten Prozessen bestehende Gesamtsystem interpretieren und bewerten zu können, sollte der Anwender auch in die Lage versetzt werden, die einzelnen Prozesse gezielt zu isolieren und das Modell anhand des Vergleichs der erhaltenen Simulationsergebnisse mit experimentellen Daten qualifizieren zu können.

Von der GRS werden daher im FuE-Vorhaben ThyMeCZ (Förderkennzeichen 02E11698) Untersuchungen zu THMC-Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente durchgeführt. Diese Arbeiten haben zum Ziel, durch ein systematisches Untersuchungsprogramm die relevanten THMC-Prozesse, die sich auf die Integrität eines Verschlussbauwerkes auswirken können, zu untersuchen und deren Zusammenhänge herauszustellen. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse sollen zur Verbesserung des Prozessverständnisses und zur Qualifizierung von Prozessmodellen eingesetzt werden.

Im Rahmen des Vortrages werden ausgewählte Prozesse vorgestellt und vor dem Hintergrund relevanter Ergebnisse experimenteller Untersuchungen diskutiert.

Jens Eckel, Torben Weyand, Martin Navarro

¹ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Integritätskriterien für ein Endlagersystem im Kristallingestein

Es werden Betrachtungen zum Nachweis der Integrität in einer Langzeitsicherheitsanalyse für ein auf technischen und geotechnischen Barrieren beruhendes Endlagerkonzept im Kristallingestein durchgeführt.

Aus grundsätzlich integritätsgefährdenden Prozessen im Kristallingestein und aus der Stellungnahme der ESK (2/2019) werden Integritätskriterien für ein auf geotechnischen und technischen Barrieren beruhendes Endlagerkonzept im Kristallingestein formuliert. Zur Konkretisierung des Integritätsnachweises für ein Sicherheitskonzept im Kristallingestein werden das schwedische KBS-3-Konzept und zusätzlich Anforderungen aus dem StandAG betrachtet. Zur Identifikation von konkreten Endlagerkomponenten, für die ein Integritätsnachweis durchzuführen ist, wird auf das Komponentenmodell und die Gliederung der Sicherheitsfunktionen aus dem Vorhaben „Vergleichende Sicherheitsanalysen (VerSi-II)“ zurückgegriffen. Damit soll eine Übertragbarkeit der durchgeführten Überlegungen auf weitere Endlagerkonzepte ermöglicht werden. Anschließend werden aus den Sicherheitsfunktionen des KBS-3-Konzeptes, soweit möglich, exemplarisch quantitative Integritätsindikatoren abgeleitet, die in einem Integritätsnachweis verwendet werden können. Aus dem Versagen einer bestimmten Sicherheitsfunktion wird abgeleitet, welches Integritätskriterium nicht mehr erfüllt ist. Damit wird ein Weg aufgezeigt, wie vor dem Hintergrund aktualisierter Integritätskriterien für ein spezifisches Endlagerkonzept im Kristallingestein ein Integritätsnachweis geführt werden kann. Eine weitere Konkretisierung kann dann in Abhängigkeit vom gewählten Endlagerkonzept vorgenommen werden.

Veröffentlichung: J. Eckel, T. Weyand, M. Navarro: Integritätskriterien für ein Endlagersystem im Kristallingestein. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, GRS-523, ISBN 978-3-947685-08-0: Köln, August 2019.

Ida Epkenhans, Svenja Wacker, Joachim Stahlmann

¹ – *Technische Universität Braunschweig, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Beethovenstraße 51b, 38106 Braunschweig*

WEIMOS – Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz

Die Endlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Stoffen in Steinsalz erfordert Aussagen sowohl zur Standsicherheit des Endlagers in der Betriebsphase als auch zur langfristigen Funktionsfähigkeit der geologischen Barriere. Die notwendigen Nachweise können durch Simulationsrechnungen erbracht werden. Dabei kommen Stoffmodelle zum Einsatz, die das thermisch-mechanische Verhalten von Steinsalz möglichst umfassend abbilden können.

Die Arbeiten von insgesamt fünf Projektpartnern haben das Gesamtziel, die gebirgsmechanische Modellierung für eine Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen im Steinsalz weiterzuentwickeln und zu qualifizieren. Dazu werden die Stoffmodelle der Projektpartner anhand von Versuchen weiterentwickelt und kalibriert. Das thermo-mechanische Verhalten von Steinsalz kann so im Rahmen der Nachweiserbringung in Simulationsrechnungen unter verschiedenen Einflüssen beschrieben und zeitlich in die Zukunft extrapoliert werden.

Aktuell beschäftigt sich das Projekt unter anderem mit der Eigenschaft der Schädigungsrückbildung von Salz. Bei der Auffahrung von Hohlräumen im Steinsalz entstehen Schädigungen, die sich bei geeigneten, möglichst isotropen Spannungszuständen zurückbilden bzw. verheilen können. Dieses Verhalten soll in die vorhandenen Stoffmodelle implementiert werden.

Das Projekt WEIMOS hatte ursprünglich eine Laufzeit vom 01.04.2016 bis zum 31.03.2019. Zu Beginn dieses Jahres wurde es bis zum 30.09.2021 verlängert.

Neben dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig sind die folgenden Institutionen eingebunden:

Dr. Andreas Hampel, Mainz (Koordinator)

IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig

Institut für Geotechnik, Abteilung Unterirdisches Bauen, LU Hannover

Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, TU Clausthal

SANDIA National Laboratories, Albuquerque, NM, USA (assoziiert)

D. Fellhauer, J. Schepperle, X. Gaona, V. Metz, M. Altmaier, H. Geckeis

¹ – *Institut für Nukleare Entsorgung, KIT, 76344 Eggenstein–Leopoldshafen*

Vergleichende Beurteilung der Löslichkeit von Radionukliden für verschiedene generische Tiefenendlager-Bedingungen

Als präferierte Entsorgungsoption von abgebranntem Kernbrennstoff gilt der langfristige Einschluss des Abfalls in fester Form in tiefe geologische Formationen. In diesem Zusammenhang spielt aus geochemischer Sicht die Löslichkeit von radioaktiven Stoffen eine zentrale Rolle. Sie gibt an, welche Menge an radioaktivem Stoff aus einer festen, immobilen Form maximal in eine wässrige, potentiell mobile Lösung übergehen kann. Die Radionuklidlöslichkeit hängt direkt von zahlreichen geochemischen Größen des wässrigen Systems ab wie z. B. dem pH-Wert, der gelösten Salzmenge, dem Sauerstoffgehalt usw., und kann sich potentiell je nach den spezifischen geochemischen Bedingungen um viele Größenordnungen unterscheiden.

Die in Deutschland als mögliche Wirtsgesteine für ein Endlager betrachteten Formationen Tonstein, Salzstein und Kristallin stellen aus geochemischer Sicht stark unterschiedliche Bedingungen dar, was entsprechend auch Auswirkungen auf das Radionuklidverhalten hat. Erwähnt seien hier beispielsweise die zu erwartenden Salzgehalte, welche von sehr niedrig (Kristallin), niedrig–mittel (Tonstein), bis hochkonzentriert (Salz) reichen können. Gegenstand des präsentierten Posters ist ein Vergleich der Löslichkeit bzw. der damit verknüpften Quellterme für ausgewählte Radionuklide unter verschiedenen generischen Endlagerbedingungen. Die Arbeiten wurden von KIT–INE im Rahmen des vom BMBF geförderten interdisziplinären Projektes ENTRIA (2013–2018) durchgeführt. Die dabei verwendete etablierte Methodik und Werkzeuge, sowie die entsprechenden experimentellen Daten und Modelle erlauben eine verlässliche Abschätzung von Radionuklidkonzentrations–Höchstwerten, sowohl für generische als auch reale Bedingungen. Sie stellen damit einen wichtigen, unterstützenden Beitrag zur vergleichenden Beurteilung eines zukünftigen Endlagerstandorts aus geochemischer Sicht dar.

Danksagung: Ein Teil dieser Arbeiten wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des ENTRIA-Projektes (Förderkennzeichen 15S9082E) finanziell unterstützt.

Reinhard Fink¹, Eva-Maria Hoyer^{1,3}, Ralf Littke¹, Björn Kröger^{1,2}, Alexandra Amann¹, Florian Amann²

¹ – *Institute of Geology and Geochemistry of Petroleum and Coal, RWTH Aachen University, Lochnerstrasse 4-20, D – 52056 Aachen*

² – *Chair of Engineering Geology and Hydrogeology, RWTH Aachen University, Lochnerstrasse 4-20, D – 52056 Aachen, Germany*

³ – *Now at: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Eschenstraße 55, 31224 Peine*

How does burial history influence the petrophysical properties of Jurassic shales? – Implications for radioactive waste storage in the Lower Saxony Basin

In the scope of the search for an underground nuclear waste storage facility for high-level radioactive waste organic-lean Aalenian and Pliensbachian mudstones of the Lower Saxony Basin (LSB) in Northern Germany are considered promising targets. These formations experienced vastly different subsidence and uplift as well as temperature and pressure histories, potentially taking influence on petrophysical and geomechanical properties.

This study aims at determining the influence of maturation as a proxy for maximum burial on physical rock properties (elastic moduli, rock strength, porosity, pore structure, hydraulic conductivity) of Jurassic mudstones by conducting an analogue study on five cores (0.53 to 1.45% VRr).

Mineralogical and geochemical characterization reveals homogeneity within the formations over the maturity sequence allowing to relate trends observed in petrophysical and geomechanical properties to the influence of thermal maturation. With maturity effective porosity ranges between 5.2 and 14.4% exhibiting a minimum corresponding to oil-window maturity (0.88% VRr). The pore space resembles a typical compaction trend at low maturities below 0.88% VRr whereas porosity is slightly increased at higher maturities by transformation of organic material. A reversed trend is observed in rock strength and elastic moduli with UCS ranging between 26.2 and 40.88 MPa and Young's modulus between 2.14 and 7.09 GPa, indicating that the maturity controlled porosity change influences in turn the rock mechanical behavior.

Areas fulfilling exclusion criteria exist for Jurassic mudstones within an extremely large maturity range of < 0.5 to more than 4% VRr. Our preliminary study suggest, that this significantly affects the transferability of petrophysical and geomechanical properties. The relationships between maturity level and petrophysical and geomechanical properties are thus a key aspect in the site selection procedure and must be systematically investigated.

Judith Flügge¹, Michael Jobmann², Christian Müller², Jürgen Sönke⁴, Axel Weitkamp⁴, Jens Wolf⁵

¹ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Bereich Endlagerung, Abteilung Standortauswahl, Braunschweig

² – BGE TECHNOLOGY GmbH, Peine

³ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Bereich Endlagerung, Abteilung Endlagersicherheit, Braunschweig

⁴ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Umgang mit geklüfteten Medien in Langzeitsicherheitsanalysen

Nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG) kommen in Deutschland für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle grundsätzlich die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht. Daraus erwachsen neue Fragestellungen und Herausforderungen für den Standortauswahlprozess, z. B. zur Aggregation unterschiedlicher standortspezifischer Daten zu einer Sicherheitsaussage oder zur Methode, wie Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen verglichen werden können. Eine besondere Herausforderung besteht im Umgang mit geklüfteten Medien, insbesondere der Identifikation von Diskontinuitäten und Kluftnetzwerken und ihrer Abbildung in sicherheitsanalytischen Modellen. Dies betrifft zum einen die Umsetzung eines Sicherheitskonzepts und die Ausweisung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches im Kristallingestein. Zum anderen müssen Methoden entwickelt werden, um die verschiedenen Kluftordnungen in regionalen hydrogeologischen Modellen abzubilden. Grundsätzlich werden Diskontinuitäten in hydrogeologischen Modellen meist als äquivalentporöse Medien (equivalent porous media, EPM), als diskrete Kluftnetzwerke (discrete fracture networks, DFN), oder als stochastisches Kontinuumsmodell (stochastic continuum model, scm) abgebildet. Für regionale hydrogeologische Modelle besteht die besondere Herausforderung darin, eine Methode zu entwickeln, die einerseits die Diskontinuitäten in hinreichender Genauigkeit abbildet und andererseits die Handhabbarkeit der Modelle im Hinblick auf vertretbare Rechenzeiten gewährleistet. Diese Problematik wird derzeit in mehreren Forschungsvorhaben adressiert, die im Rahmen dieses Vortrages vorgestellt werden.

Oliver Heibach, Gottfried Grünthal, Fabrice Cotton

¹ – *Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.6 Seismische Gefährdung und dynamische Risiken*

Das Ausschlusskriterium Seismische Aktivität kritisch kommentiert

Im Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 werden im § 22 sechs Ausschlusskriterien zur Eingrenzung möglicher Standorte eines geologischen Tiefenlagers genannt oder herangezogen. Das vierte Kriterium Seismische Aktivität besagt, dass Gebiete ausgeschlossen werden, wenn folgendes gilt: „Die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01“.

Der Kontext, in dem die Einteilung Deutschlands in Erdbebenzonen im genannten Nationalen Anhang zur Baunorm erfolgt, ist jedoch die Bereitstellung von Lastannahmen aufgrund seismischer Wellen für normale Hochbauten an der Erdoberfläche. Innerhalb der Erdbebenzonen gelten Bodenbeschleunigungen in m/s^2 , die an der freien Erdoberfläche mit einer Überschreitens-wahrscheinlichkeit von 10% innerhalb von 50 Jahren, d.h. der typischen Standzeit normaler Hochbauten, erwartet werden. Diesem Gefährdungsniveau entspricht eine mittlere Wiederholungsperiode dieser erwarteten Bodenbeschleunigungen von 475 Jahren. Bei oberirdischen kerntechnischen Anlagen werden ebenfalls 50 Jahre Standzeit angenommen, aber die zu verwendenden Überschreitens-wahrscheinlichkeiten liegen um Größenordnungen niedriger. Praktisch heißt das, dass für den technischen Konstruktionsentwurf oberirdischer kerntechnischer Anlagen Bodenbeschleunigungen von extrem selten auftretenden Erdbeben berücksichtigt werden müssen, um die Sicherheit der Anlagen zu gewährleisten.

Da jedoch die Grundlage der Heranziehung von Baunormen zum erdbebengerechten Konstruktionsentwurf stets Bodenbeschleunigungen seismischer Wellen an der freien Erdoberfläche sind, ist die Herangehensweise im Ausschlusskriterium Seismische Aktivität, also die Verwendung der Erdbebenzonen, ungeachtet der gewählten Überschreitenswahrscheinlichkeiten, im Grundsatz nicht zielführend. Erdbebenzonen werden auch in anderen Ländern, z.B. in der Schweiz, nicht als Kriterium für die Standortsuche eines geologischen Tiefenlagers verwendet. Die Amplituden seismischer Wellen im Untergrund sind deutlich geringer als die an der freien Erdoberfläche, da keine freien Schwingungen stattfinden können. Das entscheidende Kriterium, dass auch die Gefährdung durch Erdbeben und ihren Wirkungen im Untergrund einschließt, besteht in der Einhaltung einer kritischen, nicht zu unterschreitenden Distanz zu aktiven tektonischen Störungen, was mit dem Ausschlusskriterium zwei Aktive Störungzonen in § 22 bereits abgedeckt ist. Wie groß diese kritische Distanz sein sollte und ob alle maßgeblichen aktiven Störungzonen, die auch signifikante Erdbeben generieren können, ausreichend kartiert sind bzw. noch zu erfassen wären, ist die entscheidende und zu klärende Frage.

Elisa Heim¹, Miguel de la Varga^{1,2}, Gabriel Courrioux³, Florian Wellmann^{1,2}

¹ – Lehr- und Forschungsgebiet Computational Geoscience and Reservoir Engineering, RWTH Aachen University

² – Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science, RWTH Aachen University

³ – Französischer Geologischer Dienst, Orléans, Frankreich

Kartierte vs. simulierte Unsicherheiten: Welche Aspekte von Unsicherheiten in geologischen Modellen können mit stochastischen Simulationen erfasst werden?

In den letzten Jahren wurden mehrere Methoden entwickelt, um Unsicherheiten in 3D-strukturgeologischen Modellen zu quantifizieren. Diese basieren oft auf der Analyse mehrerer automatisch generierter Modellrepräsentationen. Diese Repräsentationen werden in der Regel durch stochastische Simulationen gewonnen, die auf mehreren Annahmen und Vereinfachungen basieren. Die berechtigte Frage ist daher: Sind damit erlangte Schätzungen der Unsicherheit wirklich repräsentativ?

Im Allgemeinen gibt es keine Möglichkeit zu beurteilen, ob die vollständige Unsicherheit erfasst wird, da die wahre Komplexität des zugrundeliegenden geologischen Systems nicht bekannt ist – in der Geologie gibt es viele "unknown unknowns". Eine Möglichkeit ist jedoch, sofern möglich, automatisch generierte Modelle mit solchen zu vergleichen, die von verschiedenen Experten für dieselbe Region erstellt wurden.

Ein solcher Datensatz geht aus einer zwölfjährigen Studie über eine geologische Kartierungs- und Modellierungsübung in einem Gebiet bei Alès, Frankreich, hervor. Die erstellten geologischen Modelle weisen eine hohe Variabilität hinsichtlich der Position von Schichtgrenzen sowie der Orientierung von Schichten im 3D-Raum auf. Dies wirft die Frage nach der Quelle dieser Variabilität auf – ist die Variation auf Messfehler zurückzuführen oder wurden wichtige Aspekte bei der Kartierung vernachlässigt? In anderen Worten: Kann die in den zwölf geologischen Modellen beobachtete epistemische Unsicherheit (fehlendes Wissen) erfasst und idealerweise als aleatorische (statistische) Unsicherheit dargestellt werden?

Um diese Frage zu beantworten, haben wir in demselben Gebiet eine detaillierte Kartierung durchgeführt. Ziel dieser war es, sofern möglich, für jede Beobachtung zusätzliche Unsicherheitsmessungen zu erhalten. Diese wurden dann in einen stochastischen geologischen Modellierungsprozess integriert. Beim Vergleich der daraus resultierenden stochastischen Modelle mit den manuellen Interpretationen beobachten wir in den meisten Modellregionen eine gute Übereinstimmung. Wo dies nicht der Fall ist, diskutieren wir mögliche Ursachen. Unterschiede könnten möglicherweise mit Bias (Voreingenommenheit), einer limitierten Anzahl an Messpunkten und der grundlegenden Tatsache zusammenhängen, dass geologische Beobachtungen immer von vorherigen Erfahrungen und Erwartungen beeinflusst sind. Dennoch sind die Ergebnisse vielversprechend für eine weitere Untersuchung des Einsatzes stochastischer Modellierungsansätze zur Quantifizierung von Unsicherheiten im Untergrund.

Philipp Herold¹, Eric Simo¹, Juliane Leonhard¹, Niklas Bertrams¹

¹ – BGE TECHNOLOGY GmbH

Auslegungsanforderung Rückholbarkeit – Technische Konzepte und Auswirkungen auf die Endlagerauslegung

Mit den "Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle" (BMU, 2010) sind die Schutzziele und Auslegungsanforderungen für ein Endlager für hochradioaktive wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente definiert. Eine wesentliche Auslegungsanforderung und gleichzeitig auch Genehmigungsvoraussetzung ist die Rückholbarkeit der Behälter während der Betriebszeit und die Bergbarkeit der Behälter bis zu 500 Jahren nach dem Verschluss des Endlagerbergwerkes.

Die Rückholbarkeit als "geplante technische Möglichkeit zum Entfernen der eingelagerten radioaktiven Abfallbehälter aus dem Endlagerbergwerk" (BMU, 2010) muss von Beginn an in die Endlagerkonzeption und -auslegung einbezogen werden. Der Nachweis der technischen Machbarkeit, der Sicherheit und Zuverlässigkeit des gewählten Systems für eine Rückholung ist spätestens im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zu erbringen. Die Langzeitsicherheit des Endlagers darf von der Rückholbarkeit der Behälter nicht beeinträchtigt werden. Andererseits sollte eine Rückholbarkeit der Behälter durch den Einschluss im Wirtsgestein nicht unnötig erschwert werden. Der sich aus der Auslegungsanforderung Rückholbarkeit und den Schutzzielen (Konzentration und Einschluss und damit Isolation von der Biosphäre) andeutende Zielkonflikt kann durch eine entsprechende Endlagerauslegung aufgelöst werden.

Die BGE TECHNOLOGY GmbH setzt sich seit mehreren Jahren im Rahmen von BMWi geförderter Grundlagenforschung in FuE-Vorhaben mit der Auslegungsanforderung Rückholbarkeit, deren Einbindung in die Endlagerauslegung, der Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung für die drei Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallin und damit der Auflösung dieses Zielkonfliktes auseinander. Ausgehend von einer neu entwickelten generellen Rückholungsstrategie wurden für verschiedene Einlagerungskonzepte Rückholungskonzepte erarbeitet.

Mit dem vorgeschlagenen Beitrag soll die Relevanz der Rückholbarkeit für die Endlagerauslegung verdeutlicht und aktuelle technische Weiterentwicklungen von Einlagerungs- bzw. Rückholungskonzepten vorgestellt werden.

Andreas Hördt, Matthias Bücken, Christopher Virgil

¹ – *Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, TU Braunschweig*

Angewandte Geophysik an der TU Braunschweig – Abschätzung von Gesteinseigenschaften aus elektrischen Messungen

In der angewandten Geophysik werden physikalische Parameter des Untergrundes zerstörungsfrei und minimal invasiv bestimmt. Aus den physikalischen Parametern werden Eigenschaften abgeschätzt, die für die Endlagerung relevant sind, wie z.B. die hydraulische Leitfähigkeit, das Auftreten von Klüften und Störungen, oder der Wassergehalt. Die Arbeitsgruppe Angewandte Geophysik der TU Braunschweig, als Teil des Institutes für Geophysik und extraterrestrische Geophysik, vertritt in der Lehre die gesamte Breite der Methoden der Angewandten Geophysik, einschließlich Seismik, Gravimetrie, Magnetik, Bodenradar und Geoelektrik.

In der Forschung liegt ein Schwerpunkt auf der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit. Als Erweiterung konventioneller Methoden interessiert uns besonders die Frequenzabhängigkeit der Leitfähigkeit. Diese bietet ein besonderes Potential, hydraulische Durchlässigkeiten abzuschätzen. Wir erforschen die Möglichkeiten elektrischer Erkundungsmethoden mit Geländemessungen, im Labor, und mit Hilfe theoretischer Überlegungen. Im Kontext der Endlagerung haben wir unter anderem Eigenschaften von Zement und Beton mit niedrigem pH Wert untersucht. Ein zweiter Forschungsschwerpunkt liegt auf magnetischen Verfahren, welche insbesondere zur Erkundung metallischer Strukturen geeignet sind. Hier arbeiten wir an verschiedenen Konzepten zur Erweiterung der Einsatzgebiete bei Messungen mittels Drohnen und in Bohrungen.

S. Kaufhold, R. Dohrmann

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

18 Jahre Bentonitforschung der BGR

Die Bentonit-Endlagerforschung der BGR konzentrierte sich von Beginn an auf den Vergleich verschiedener Bentonite. Mittlerweile beläuft sich die BGR-Bentonitsammlung auf 77 verschiedene Bentonite aus der ganzen Welt. Diese wurden nach dem Stand der Technik charakterisiert und in diversen vergleichenden Tests eingesetzt. Basierend auf den Erkenntnissen, die durch die Untersuchung verschiedener Bentonit-Großversuche (Mont Terri, Grimsel, Äspö) erzielt wurden, konnten die zu betrachtenden Parameter bzw. Reaktionen eingegrenzt werden. Neben den bereits bekannten Lösungs-Fällungsreaktionen, die natürlich besonders dann zu beobachten sind, wenn vergleichsweise lösliche Komponenten im Bentonit vorkommen (z.B: Gips, Calcit,..) sind dies die Mineralumwandlungen an der Bentonit/Zementgrenze, die Beeinflussung der Metallkorrosionsrate durch den Bentonit und die Anreicherung von Mg an der heißen Metalloberfläche.

Im Kontakt mit Zement kann sich Smektit, der Hauptbestandteil von Bentonit auflösen, was die Barrierefunktion beeinträchtigen würde. In den letzten Jahren wurde eine Methode entwickelt, mit der man bei unterschiedlichsten Bedingungen die Zersetzung des Smektit quantifizieren kann. Dabei ergab sich bisher, dass die Reaktion schon nach wenigen Monaten im Wesentlichen abgelaufen ist. Zudem wurde eine Art Faustformel entdeckt, die besagt, dass 1 g Zement ca. 2 g Smektit zersetzen kann. Schließlich wurde auch gefunden, dass reaktive Kieselsäure die Reaktion puffert (Kaufhold et al., 2019 – submitted). Wählt man also einen Kieselsäure-reichen Bentonit, dann zersetzt der Zement geringere Mengen der Smektite.

Die Eisen-Bentonit Grenzfläche ist womöglich die relevanteste, da die Korrosionsrate von Eisen im Kontakt mit Bentonit von 0,5 – 50 µm/a variiert. Bei einer Eisenwandstärke von 10 cm (=100.000 µm) bedeutet das theoretisch eine Variation der Haltbarkeit des Kanisters von 2000 Jahren bis 200.000 Jahren. Anhand diverser vergleichender Korrosionstests wurde festgestellt, dass sich niedrig geladene Smektite leichter reduzieren lassen, was zeitgleich ihre Struktur destabilisiert. In der Folge steht mehr Si als Reaktionspartner für das gelöste Eisen zur Verfügung. Niedrig geladene Smektite fördern damit sowohl den „Verbrauch“ von Elektronen als auch von gelöstem Eisen. Dieser gekoppelte Prozess erklärt die bisherigen Beobachtungen, ein Reaktionsschema wurde entwickelt, auf deren Basis modelliert werden kann. (Kaufhold et al., 2019 – submitted).

Der Grund für die Mg-Anreicherung an der Metalloberfläche (Kanister) in Großversuchen ist bisher am wenigsten verstanden. Die Großversuche zeigen, dass die Metallsorte unerheblich für das Phänomen ist. In Laborversuchen wurden bisher Versuche mit Mg durchgeführt die gezeigt haben, dass das Mg in den hexagonalen Löchern der Smektitstruktur fixiert werden kann, allerdings nur wenn es sehr trocken ist. Anhand von kontrollierten Lösungsversuchen konnten wir zeigen, dass das Mg/Si Verhältnis im System von der Temperatur abhängt. Derzeit wird also getestet, ob der Grad der Mg-Anreicherung am Heater durch die Temperatur gesteuert werden kann. Für diesen Zweck ist eine Reihe von Säulenversuchen mit unterschiedlichen T-Gradienten geplant.

Fabian Jähne-Klingberg, Heidrun Stück

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Großräumige Vertikalbewegungen Deutschlands: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft?

Großräumige Vertikalbewegungen können Größenordnungen von bis zu mehreren Millimetern pro Jahr annehmen. Innerhalb geologischer Zeiträume können diese scheinbar geringen Hebungsraten unter bestimmten Umständen zur erhöhten Abtragung an der Oberfläche führen und in geologischen Zeitskalen zur Freilegung eines Endlagerstandortes führen. Um diese Gefährdung für ein Endlager auszuschließen wurden nach § 22, Absatz 2, Nummer 1 des Standortauswahlgesetzes Regionen als ungeeignet definiert, in denen eine großräumige, geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten ist.

Die BGR hat hierzu in einem Bericht (Jähne-Klingberg et al. 2019) den aktuellen Kenntnisstand zu großräumigen Vertikalbewegungen Deutschlands zusammengefasst sowie bestehende Diskrepanzen und Gleichnisse publizierter Daten herausgearbeitet. Auch erfolgte eine Bewertung der Möglichkeiten großräumige Vertikalbewegungen über einen Zeitraum von 1 Million Jahren zu prognostizieren.

Auf Basis der vorliegenden Studie möchten wir verschiedene Teilaspekte dieses Themenkomplexes präsentieren, wozu insbesondere die Darstellung des komplexen Ineinandergreifens der Prozesse Hebung und Abtragung zählen. Weiterhin werden wesentliche endogen wirkende Prozesse vorgestellt, deren Prozessgeschwindigkeiten verdeutlicht, sowie deren mögliche flächigen Auswirkungen für Deutschland. Weiterhin werden exemplarisch Unterschiede in den verschiedenen Ableitungen von Vertikalbewegungen, sei es aus geomorphologischen, stratigraphischen oder geodätischen Analysen, vorgestellt bzw. diskutiert.

Jähne-Klingberg, F., Stück, H., Bebiolka, A., Bense, F. & Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland – Abschlussbericht. P. 140; Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).

Ingo Kock, Martin Navarro und Klaus Fischer-Appelt

¹ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Schwertnergasse 1, 50667 Köln

VerSi – eine Methode zum Vergleich von Endlagerstandorten

In Deutschland wird auf Grundlage des Standortauswahlgesetzes (StandAG) ein Auswahlverfahren für Endlagerstandorte für hochradioaktive Abfälle durchgeführt. Der letztendliche Standortvorschlag durch den Vorhabenträger soll eine vergleichende Bewertung der zu betrachtenden Standorte beinhalten. Dieser Standort-vergleich soll von der zuständigen Genehmigungsbehörde geprüft werden.

Die Sicherheitskonzepte für verschiedene Wirtsgesteine wie Tonstein, Salz und Kristallin unterscheiden sich so erheblich, dass ein sinnvoller Vergleich der Endlagersysteme sowie der Ergebnisse vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen zunächst kaum möglich erscheint.

Bereits im Jahr 2010 hat die GRS einen ersten Schritt zur Entwicklung einer Vergleichsmethodik für Tonstein und Steinsalz unternommen. Im Jahr 2017 wurde festgestellt, dass sich in die Methode mit geringfügigen Änderungen Endlagerkonzepte für das Wirtsgestein Kristallin einbeziehen lassen.

Die vorgestellte Abwägungsmethode ist sicherheitsgerichtet und transparent, damit der Vergleich auch von Dritten nachvollzogen werden kann. Die Basis des Vergleichs bilden die geologischen Standortbeschreibungen und die Sicherheits- und Endlagerkonzepte. Kern der Methode ist die Feststellung, dass sich Endlagerkonzepte für verschiedene Wirtsgesteine trotz ihrer Unterschiedlichkeit dahingehend vergleichen lassen, wie robust ihre Sicherheitsfunktionen sind. Grundlage der Betrachtung sind i) eine Robustheitsbewertung der Sicherheitsfunktionen aller Endlagerkomponenten und ii) eine Wichtung der Relevanz dieser Sicherheitsfunktionen. Die Robustheitsbewertung und Relevanzwichtung werden zur Ausweisung von Robustheitsdefiziten benutzt, die das Ergebnis des Vergleichs bilden.

Ab 2019 soll die Abwägungsmethode in einem generischen Standortvergleich für alle drei Wirtsgesteinstypen getestet werden.

Ben Laurich, Werner Gräsle, Johanna Lippmann-Pipke

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Risse im Tonstein – Auswirkungen für die Endlagerung?

Risse können die Materialeigenschaften eines Gesteins massiv beeinflussen. So können sich Festigkeit, Elastizität und Durchlässigkeit eines gestörten Gesteins deutlich von intaktem Gestein unterscheiden. Risse kommen in der Natur häufig vor. Zahlreiche Studien befassten sich daher mit der Charakterisierung und dem Einfluss von Rissen in Tonsteinen. Wir zeigen eine ausgewählte Zusammenfassung der bisherigen Rissforschung im Opalinuston und berichten von unseren aktuellen Versuchen im gesteinsmechanischen Labor der BGR.

So zeigen wir fotografisch wie einzelne Risse entstehen und wie sich diese zu komplexen Netzwerken verbinden. Dazu benutzen wir einen eigens entwickelten, durchsichtigen Druckstempel und werten mittels Bildkorrelationen die Verformung während eines Echt-Triaxialversuches aus. Das gewonnene Prozessverständnis lässt sich auf die Feldskala übertragen und dient dazu, die Entstehung und die mechanischen Eigenschaften natürlicher Rissnetzwerke zu beschreiben.

Außerdem zeigen wir in einem Zeitraffervideo, wie sich ein Riss bei Wasserzufuhr wieder verschließt. Dabei analysieren wir die zugrundeliegenden Mechanismen, wie zum Beispiel die Tonmineralquellung.

Schließlich betrachten wir die Auswirkungen, die sich aus Rissen im Tonstein für die Endlagerung ergeben.

Johanna Lippmann-Pipke¹, Christoph Neukum¹, Vincent Post¹, Simone Seibert¹, Paul Königer¹, Samuel Niedermann²

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

² – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam

Altersbestimmung von Grundwasser – Chancen während der übertägigen Erkundung

Die langfristige sichere Isolation radioaktiver Abfallstoffe von der Biosphäre im geologischen Untergrund bedarf dessen eingehender Charakterisierung, vor allem auch in Bezug auf die sicherheitsrelevanten hydrogeologischen Eigenschaften der Deck- und Barrieregesteine. Es sollten z. B. sowohl eine ausreichend große Mächtigkeit und Standsicherheit als auch eine ausreichend geringe Permeabilität und damit Zirkulation von Wasser gegeben sein. Die Kenntnis über Grundwasseralter bzw. der Verweilzeit von Grundwasser in dem zu beurteilenden hydrogeologischen System ist zum einen eine gesetzliche Anforderung, birgt darüber hinaus aber auch Chancen für die Einschätzung des Isolationsvermögens potentieller Endlagerstandorte.

Mit der Grund- und Porenwasseranalytik kann das natürliche geochemische Archiv des Untergrunds, welches sicherheitsrelevante Informationen über die paläohydrologische Gesamtsituation des unterirdischen Raumes birgt, genutzt werden. Wir stellen Datierungsmethoden und Prinzipmodelle zur Charakterisierung der natürlichen Dynamik des Grund- und Porenwassers vor: Diese beinhalten u.a. die gezielte Beprobung von Tiefenprofilen im übertägigen Erkundungsprogramm, die sachkundige Probenanalytik und die Verwendung der Daten in hydrogeologischen Modellen.

Wir präsentieren hier vorhandene Methoden, Kompetenzen und Fallbeispiele in bisherigen Forschungs- und Standortuntersuchungsprogrammen im In- und Ausland.

Stefan Lüth, Britta Wawerzinek, Roman Esefelder, Rüdiger Giese, Charlotte M. Krawczyk

¹ – *Helmholtz Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ*

Seismic Characterization of Opalinus Clay at the Scale of an Underground Rock Laboratory (URL) in Mont Terri – the iCross Project

Underground exploration and monitoring will play a vital role in the selection and development process for a disposal site for high-level radioactive waste. High-resolution three-component underground seismic exploration has been intensively applied in crystalline and rock salt environments, but, so far, relatively little reference experience exists from the exploration in clay formations. At the German Research Centre for Geosciences (GFZ), a modular seismic acquisition system has been developed which is particularly suited for exploration and monitoring at the scale of an Underground Rock Laboratory (URL) and which has been successfully applied in the context of tunnel construction and mining activities in crystalline and rock salt.

In the Swiss Mont Terri URL, which has been constructed as an experimental platform covering different facies types of the Opalinus Clay, the GFZ has acquired a seismic pilot survey investigating the applicability of the underground seismic acquisition system at the URL scale in clay formations, which may become relevant during the German site selection process and potentially also in the development and operation of a disposal site.

Initial results provide instructive information on the performance of high-resolution impact and vibration sources for P- and S-wave transmission tomography as well as for reflection imaging. Traveltime and tomographic analyses provide petrophysical characterization and anisotropy properties.

Franz May¹

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Vulkane – die Spitze des Eisbergs tiefreichender magmatischer Prozesse

Das fünfte Ausschlusskriterium nach § 22 StandAG betrifft vulkanische Aktivität. Es beinhaltet quartären Vulkanismus, dessen Verbreitung gut bekannt ist, und zukünftig zu erwartende vulkanische Aktivität. Die Prognose der Aktivität in Vulkanfeldern über den langen Zeitraum von einer Million Jahre ist schwierig. Dafür gibt es bisher keine allgemein anerkannte wissenschaftliche Methodik und keine Möglichkeit einer direkten Verifizierung der Prognosen. Die Bewertung von Georisiken in Intraplattenvulkanfeldern ist aktueller Gegenstand internationaler Forschung. Da Vulkanismus kein stochastischer Prozess ist, sind statistische Methoden nicht ausreichend. Vulkanausbrüche sind nur Erscheinungen an der Erdoberfläche tief- und weitreichender (mehrere hundert Kilometer), langlebiger (etliche Millionen Jahre) magmatischer Prozesse im Untergrund. Daher reicht es für Prognosen nicht aus, den quartären Vulkanismus der letzten 2,6 Mio Jahre zu betrachten. Es ist vielmehr ein Verständnis des tertiären und quartären Magmatismus in Deutschland insgesamt erforderlich. Zur Entwicklung von Modellen magmatischer Prozesse können Informationen aus den Förderprodukten vergangener Vulkanausbrüche, der gegenwärtigen geophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes, rezenter Gasaustritte, und numerische Simulationen der zukünftigen Entwicklung herangezogen werden. Etwa 25 verschiedene geodynamische und petrologische Indikatoren können mit magmatischen Prozessen in Verbindung gebracht werden und eventuell Hinweise auf zukünftige Aktivitäten geben. Eine Gewichtung der unterschiedlichen Indikatoren hinsichtlich ihrer möglichen Relevanz für zukünftige Aktivität ist eine der Herausforderung bei Prognosen. Damit erscheint jedoch eine (halbquantitative) regionale Differenzierung der Erwartung zukünftigen Vulkanismus, unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Annahmen in Modellen und zu Prozessen, möglich. Im FuE-Projekt „Magmatismus“ will die BGR die einzelnen Indikatoren genauer betrachten und gemeinsam mit externen Experten versuchen, Informationen zu erarbeiten, die bei der Auswahl und Erkundung von Standortregionen berücksichtigt werden können.

Volker Mintzläff, Joachim Stahlmann

¹ – Technische Universität Braunschweig, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Beethovenstraße 51b, 38106 Braunschweig

Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS): Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen (TAP TRUST) – Rückholung hochradioaktiver Abfälle: Unbestimmbarkeit, Unsicherheit im Kontext zu Vertrauen

In TRANSENS wird erstmalig in der Entsorgungsforschung transdisziplinär geforscht. Das Poster stellt das Arbeitsprogramm des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik innerhalb TRANSENS vor und gibt einen Überblick über die anstehenden Forschungen zum Thema Rückholung, Ungewissheiten und Unbestimmbarkeit.

Aufbauend auf die bereits in ENTRIA erarbeiteten Modelle zur Rückholbarkeit soll eine modellhafte Vorstellung der Prozesse bei der Rückholung entwickelt werden. Ein großer Teil der transdisziplinären Zusammenarbeit wird mit der Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe) erfolgen. Diese wird aus einem Online-Panel im Frühjahr 2020 rekrutiert. Im zweiten Projektjahr wird mit ihr zusammen ein Wirtsgestein zur weiteren Ausarbeitung des Modells zur Rückholung ausgewählt. Dieser Demonstrator soll durch transdisziplinäre Zusammenarbeit von Experten außerhalb der universitären Forschung und durch ein Bürgergutachten verbessert werden. Es soll erarbeitet werden, inwiefern die zu erwartenden Unsicherheiten und Unbestimmbarkeiten als akzeptabel angesehen werden können.

Insgesamt soll bei der Forschung ein Beitrag zu einem besseren Verständnis inner- und außeruniversitärer Prozesse und der Entstehung von Vertrauen in die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle erarbeitet werden. Es soll evaluiert werden, ob die transdisziplinäre Zusammenarbeit von außeruniversitären Experten und Laien einen Beitrag dazu leisten kann, die soziotechnische Robustheit des Entsorgungspfades zu verbessern.

Sophia Morawietz^{1,2}, Oliver Heidbach¹, Karsten Reiter³, Moritz Ziegler¹, Team SpannEnD^{1,3,4}

¹ – 1 Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

² – TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften

³ – TU Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften

⁴ – KIT – Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Geowissenschaften

Datenbank zu Magnituden von Gebirgsspannungen in Deutschland

Das Spannungsfeld in der Erdkruste spielt bei der Charakterisierung eines geologischen Tiefenlagers für Nuklearabfälle eine zentrale Rolle. Bei der Standortauswahl, der Bauplanung sowie der Untersuchung der Langzeitstabilität sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen, die durch den Spannungszustand beeinflusst werden. Dazu gehören die Auflockerungszone (excavation damage zone), die hydraulische Durchlässigkeit des Wirtsgesteins, das Selbstabdichtungsvermögen, die Auswirkungen seismischer Ereignisse und die mögliche Reaktivierung von Störungen als Migrationspfade für Fluide und Radionuklide. Um eine kontinuierliche Beschreibung des gegenwärtigen 3D Spannungszustandes zu erhalten, werden 3D geomechanisch-numerische Modelle verwendet. Diese Modelle müssen mit Daten zu Spannungsmagnituden kalibriert werden, um belastbare Prognosen zu erhalten. Eines der zentralen Ziele des Projektes SpannEnD (Spannungsmodell Endlagerung Deutschland) ist daher der Aufbau der ersten umfassenden und öffentlich zugängliche Spannungsmagnituden-Datenbank für Deutschland inklusive einem Qualitätsranking der Daten, die aus unterschiedlichen Methoden gewonnen werden. Diese Datenbank ist die konsequente Erweiterung der Datenbank des World Stress Map Projektes, in dem bisher nur Informationen zu Spannungsorientierungen und dem Spannungsregime systematisch zusammengetragen werden. Wir präsentieren die erste Kompilation der Spannungs-magnitudendaten, die Anfang 2020 publiziert und verfügbar sein werden. Da die Spannungsdatendichte generell gering und heterogen ist, ist eine Modellkalibrierung im Maßstab eines Standortmodells nicht möglich. Daher ist das Hauptziel des SpannEnD-Projektes die Entwicklung eines geomechanisch-numerischen 3D-Modells für ganz Deutschland. Das daraus resultierende 3D Spannungsfeld soll die Grundlage für regionale und lokale Modelle in einer späteren Phase des Standortauswahlverfahrens schaffen. Details hierzu werden in Beiträgen von Reiter et al. und Ahlers et al. vorgestellt.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung des SpannEnD-Projektes beim Bundesministerium für Wirtschaft (Förderkennzeichen: 02E11637A). Das SpannEnD Team ist eine Kooperation zwischen GFZ Potsdam, TU Darmstadt und dem KIT mit Steffen Ahlers, Oliver Heidbach, Andreas Henk, Tobias Hergert, Sophia Morawietz, Birgit Müller, Karsten Reiter, Luisa Röckel und Frank Schilling.

Katharina Müller¹, Jutta Winsemann¹, Ulrich Polom², Holger Steffen³, Sumiko Tsukamoto², Thomas Günther², Jan Igel², Thomas Spies⁴, Manfred Frechen², Christian Brandes¹

¹ – *Institut für Geologie, Leibniz Universität Hannover, Callinstraße 30, 30167 Hannover, Germany*

² – *Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany*

² – *Lantmäteriet, Geodetic Infrastructure Referenssystem, Lantmäterivägen 2C, 80102 Gävle, Sweden*

² – *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany*

Neotectonics and paleoseismicity – The reactivation potential of faults in northern Germany due to glacial isostatic adjustment

Northern Germany is an intraplate region and traditionally regarded as a low seismicity area. However, historic sources show that several significant earthquakes have occurred in this region since the 10th century (Leydecker, 2011). In addition, geological data sets and numerical modeling studies have shown that there is a link between Lateglacial and historic seismicity (Brandes et al., 2012, 2015). In recent years natural earthquakes (Brandes et al., 2019) as well as earthquakes in the vicinity of active gas fields, which are interpreted as the result of hydrocarbon production, have been instrumentally recorded (e.g. Dahm et al., 2007).

The assessment of the reactivation potential of faults in northern Germany is highly relevant for the search of a nuclear waste repository, future hydrocarbon production and geothermal energy projects. Therefore, paleoseismic investigations are necessary, which allow to extend the knowledge of seismic events further into the past, to better estimate the recurrence intervals of earthquakes and thus the hazard potential.

Seven WNW–ESE trending major basement faults, which have a high potential for reactivation due to glacial isostatic adjustment (GIA), were analyzed in regard of paleo-fault activity. Evidence for neotectonic movements along five of these basement faults was identified, indicated by the occurrence of shear-deformation bands and seismites in Pleistocene sediments. Neotectonic fault activity can be proven since Middle Pleistocene Saalian times and took place until historic times. Evidence for neotectonic activity was found at the Aller Valley Fault, the Halle Fault system, the Harz Boundary Fault, the Steinhuder Meer Fault and the Osning Thrust. It is possible that this activity caused earthquakes but apart from one location at the Osning Thrust up to now no direct proof for seismicity could be found.

High resolution shear-wave seismic and geoelectric (ERT) profiles were used to analyze the near surface geometry of the faults. Subsequently, numerical simulations of GIA-related changes in Coulomb failure stress were carried out to investigate the reactivation potential of the Harz Boundary Fault. The timing of fault movement estimated from luminescence dating and modeling results indicate Lateglacial activity that is likely caused by the decay of the Weichselian ice sheet.

References

Brandes, C., Winsemann, J., Roskosch, J., Meinsen, J., Tanner, D.C., Frechen, M., Steffen, H., Wu, P. (2012). Activity along the Osning Thrust in Central Europe during the Lateglacial: ice-sheet and lithosphere interactions. *Quaternary Science Reviews*, 38, 49–62.

Brandes, C., Steffen, H., Steffen, R., Wu, P. (2015). Intraplate seismicity in northern Central Europe is induced by the last glaciation. *Geology*, 43, 611–614.

Brandes, C., Plenefisch, T., Tanner, D.C., Gestermann, N., Steffen, H. (2019). Evaluation of deep crustal earthquakes in northern Germany – Possible tectonic causes. *Terra Nova*, 31, 83–93.

Dahm, T., Krüger, F., Stammler, K., Klinge, K., Kind, R., Wylegalla, K., Grasso, J.R. (2007). The 2004 Mw 4.4 Rotenburg, northern Germany, earthquake and its possible relationship with gas recovery. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97, 691–704.

Leydecker, G. (2011). Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2008. *Geologisches Jahrbuch Reihe E*, 59, pp.1–198.

Martin Navarro, Torben Weyand, Jens Eckel, Heidemarie Fischer

¹ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Indikatoren zum Nachweis der Isolation und des Einschlusses („contain and isolate“)

Die Langzeitsicherheit der Endlagerung beruht auf dem Sicherheitsprinzip des sicheren Einschlusses. Ziel ist es, dass ein großer Anteil der Radionuklide im Bereich der wesentlichen Barrieren eingeschlossen bleibt und fernab der Biosphäre zerfällt. Um den sicheren Einschluss der Radionuklide nachzuweisen, muss nach §26 Abs. 2 StandAG gezeigt werden, dass Expositionen aufgrund von Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Endlager geringfügig sind im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition. Hierfür werden in der Regel Dosisindikatoren verwendet, die zeigen, ob die radiologischen Schutzziele in der Biosphäre erreicht werden.

Ein vollständiger Nachweis des sicheren Einschlusses ist hiermit jedoch noch nicht erbracht, denn es muss im Falle geringfügiger Dosiswerte auch gezeigt werden, dass dies tatsächlich durch den Einschluss der Radionuklide im Barrierensystem erreicht wurde („contain and isolate“) und nicht durch Verdünnung und Rückhaltung im Deckgebirge („dilute and disperse“). Daher sind zusätzliche Indikatoren notwendig, die eine Unterscheidung zwischen „contain and isolate“ und „dilute and disperse“ ermöglichen. Indikatoren dieser Art zeigen nicht, ob in der Biosphäre radiologische Schutzziele erreicht werden (dies leisten Dosisindikatoren), sondern auf welche Weise sie erreicht werden.

Die GRS hat mehrere solcher Indikatoren entworfen und beispielhaft angewendet. Hierzu wurden abschätzende Simulationsrechnungen für das Wirtsgestein Tonstein auf Basis der Parameterbandbreiten der geowissenschaftlichen Auswahlkriterien des StandAG durchgeführt.

Ulrich Noseck¹, Thorsten Schäfer^{2,3}, Tatiana Reiche¹

¹ – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Braunschweig

² – Angewandte Geologie, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität (FSU) Jena

³ – Karlsruhe Institut für Technology (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Karlsruhe

Model calculations for radionuclide and colloid transport in a granitic shear zone at the Grimsel test site (CFM-Project und KOLLORADO-e3)

Ein wichtiger Aspekt im Verbundvorhaben Kollorado-e3 von GRS, FSU Jena und KIT-INE (Förderkennzeichen 02E11759A-C) ist es das Verständnis zum kolloidgetragenen Schadstofftransport zu vertiefen, und die Wechselwirkungsprozesse zwischen Radionukliden, Kolloiden und Mineralphasen in Kluftzonen im Kristallingestein zu quantifizieren. Dazu werden u. a. Feldexperimente, die im Rahmen des von der NAGRA koordinierten „Colloid Formation and Migration (CFM)“ Projektes (www.grimsel.com) im Felslabor Grimsel durchgeführt werden, mit dem langzeitsicherheitsanalytischen Transportcode COFRAME simuliert. Der Code modelliert den Radionuklid- und Kolloidtransport in geklüfteten Medien mit einem Doppelporositätsansatz und die Wechselwirkung zwischen den Komponenten über kinetisch kontrollierte Reaktionen [1]. In den Dipolexperimenten wird ein Cocktail aus Radionukliden oder Homologen mit Kolloiden in Grimsel Grundwasser equilibriert und in die Scherzone injiziert. Die Modellierung der am Extraktionsbohrloch erhaltenen Durchbruchskurven zeigt, dass

- die kolloidgetragenen Radionuklide so schnell transportiert werden wie das Fluid,
- ein Teil der Kolloide während des Transports aber durch Filtration zurückgehalten und
- ein Teil der ursprünglich an den Kolloiden sorbierten Radionuklide während des Transports desorbiert und am Kluftfüllmaterial retardiert wird.

Aus den verschiedenen Feldexperimenten wurden Filtrations- sowie mit der Fluidtransportzeit abnehmende Desorptionsraten erhalten. Die mit COFRAME ermittelten Raten stimmen gut mit den aus anderen Codes ermittelten Daten überein [2]. Der Einsatz der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) [3] ermöglicht die Analyse von Radionuklidkonzentrationen im Sub-ppb Bereich im Tailing der Durchbruchkurven und damit die Identifikation von Parametern, die die Sorptions- und Desorptionsprozesse über längere Zeiträume bestimmen. In dem Beitrag werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

[1] Reiche, T., Noseck, U., Schäfer, Th. (2015): "Migration of contaminants in fractured-porous media in the presence of colloids: effects of kinetic interactions." *Transport in Porous Media* 111: 143–170.

[2] Noseck, U., Flügge, J., Reimus, P., Cvetkovic, V., Lanyon, G.W., Schäfer, Th., Blechschmidt, I. (2016): "Colloid Formation and Migration Project: Modelling of tracer, colloid and radionuclide/homologue transport for dipole CFM 06.002 Pinkel surface packer." NTB 16-06, NAGRA Wettingen (Switzerland)

[3] Quinto, F., Golser, R., Lagos, M., Plaschke, M., Schäfer, T., Steier, P., Geckeis, H. (2015): "Accelerator Mass Spectrometry of Actinides in Ground- and Seawater: An Innovative Method Allowing for the Simultaneous Analysis of U, Np, Pu, Am, and Cm Isotopes below ppq Levels." *Anal. Chem.*, 87(11): 5766–5773.

Klaus Pusacker, Gösta Hoffmann, Mario Valdivia Manchego

¹ – Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Känozoische Bruchschollentektonik und Vertikalbewegungen des Untergrundes in der Niederrheinischen Bucht

Als eine Teilregion des Europäischen Känozoischen Riftsystems wird die Niederrheinische Bucht durch eine komplexe Bruchschollentektonik geprägt, die bis heute aktiv ist. Stratigraphische und tektonische Untersuchungen haben eine Slip – Rate von 0,01 mm/a – 0,1 mm/a ermittelt. Im Vergleich dazu wurde mit geodätischen Vermessungen eine relative Bewegung der einzelnen Bruchschollen zueinander festgestellt, die eine Geschwindigkeit von 1 mm/a – 3mm/a hat. Damit sind die geodätisch bestimmten Slip – Rates um den Faktor 10 – 300 größer als die auf Grundlage der geologischen Daten.

Die Differenz zwischen den genannten Messergebnissen kann von einer Vielzahl an Faktoren abhängen, welche die Bewegungsraten der Schollen beeinflussen. Neben tektonischen Prozessen können beispielsweise auch anthropogene Einflüsse die vertikalen Bewegungsraten der Bruchschollen verändern. In der Niederrheinischen Bucht sind diesbezüglich vor allem die Auswirkungen des Bergbaus von großer Bedeutung.

Ziel der Arbeit war die Erstellung von Modellen, welche die Schollenbewegungen und –versätze darstellen sollen. Die Ergebnisse der Modellierung konnten mit den langfristigen Bewegungsraten in der Region abgeglichen werden. Dadurch wurde auch genauer ermittelt, wie groß die anthropogenen Einflüsse des Bergbaus auf die Bewegungen der intrakontinentalen Bruchschollen sind.

K. Reinhold, M. Henneberg, W. Liu, T. Thiemeyer

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Interdisziplinäre Forschung der BGR zu flach lagernden Steinsalzlagern in Deutschland

Im Untergrund von Deutschland kann Steinsalz in unterschiedlichen Regionen und stratigraphischen Einheiten in Form von mehreren, bis hunderte Meter mächtigen Steinsalzlagern vorkommen. Insbesondere diese können in endlagerrelevanten Teufen spezielle Eigenschaften aufweisen, z. B. eine sehr gute Dichtigkeit gegenüber Gasen und Flüssigkeiten (BGR 2007), die eine vielfältige geotechnische Verwendung als Untertagespeicher oder -deponie gestatten (vgl. BLA-GEO 2015) und wodurch sie natürliche Schutzfunktionen im Untergrund übernehmen können (vgl. Müller & Reinhold, 2011).

Die BGR führt im Auftrag bzw. gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Forschungsarbeiten zu flach lagernden Steinsalzhorizonten durch, um wissenschaftlich-technischen Grundlagen für eine fachlich-fundierte Beratung zu Nutzungsmöglichkeiten dieser Horizonte zu schaffen. Dabei erfolgt die geologische Charakterisierung von Steinsalzen in Deutschland durch interdisziplinäre Zusammenarbeiten in der BGR und zusammen mit weiteren Partnern.

Beispiele dafür sind die Arbeiten im Vorhaben BASAL, in dem im Jahr 2016 eine Zusammenstellung des Kenntnisstandes zu den Vorkommen und den geologischen Lagerungsverhältnissen flach lagernder Steinsalzfolgen in Deutschland erfolgte (Reinhold & Hammer 2016). Die Fortentwicklung und der Erhalt der wissenschaftlich-geotechnischen Kompetenz in der BGR sind Voraussetzungen um repräsentative generisch-geologische Modellbeschreibungen zu erstellen sowie Integritätsanalysen der geologischen Barriere im Rahmen von KOSINA durchzuführen. Diese wesentlichen Grundlagen dienen der Konzeptentwicklung und Bewertung von generischen Endlager für radioaktive Abfälle in flach lagernden Salzschieben (Völkner et al. 2017, Liu et al. 2018).

Quellen:

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen: 17 S.; Hannover.

Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) (2015): Charakterisierung der Nutzungspotenziale des geologischen Untergrundes in Deutschland als Bewertungsgrundlage für unterirdische Raumnutzungen im tieferen Untergrund.- Informationen aus den Bund/Länder-Arbeitsgruppen der Staatlichen Geologischen Dienste: 31 S.; Güstrow.

Liu, W., Knauth, M., Eickemeier, R., Fahland, S., Popp, T. & Minkley, W. (2018): TM- und THM-gekoppelte Modellberechnungen zur Integritätsanalyse der geologischen Barrieren in flach lagernden Salzformationen, Ergebnisse aus dem Vorhaben KOSINA. BGR, Ergebnisbericht; Hannover.

Müller, C., Reinhold, K. (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin/Hannover.

Reinhold, K. & Hammer, J. (2016): Steinsalzlager in den salinaren Formationen Deutschlands. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 167(2–3): 167–190.

Völkner, E., Kühnlenz, T., Hammer, J. & Gast, S. (2017): Entwicklung generischer geologischer Modelle für flach lagernde Salzformationen, Ergebnisse aus dem Vorhaben KOSINA. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover.

Vorhaben:

BASAL (2013–2019): Verbreitung und Eigenschaften flach lagernder Salzschieben in Deutschland. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Projekte/Wirtsgesteine_geotechnische_Barrieren/laufend/BASAL.html

KOSINA (2015–2018): Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (Projektbeteiligte GRS gGmbH, BGR, BGE TECHNOLOGY GmbH, IfG, Leipzig). <https://www.bge-technology.de/index.php?id=64>

Karsten Reiter¹, Steffen Ahlers¹, Oliver Heidbach³, Andreas Henk¹, Tobias Hergert¹, Sophia Morawietz³, Birgit Müller², Luisa Röckel², Frank Schilling²

¹ – *Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Darmstadt*

² – *Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam*

³ – *Institut für Angewandte Geowissenschaften, KIT, Karlsruhe*

Projekt SpannEnD – Spannungsmodell Endlagerung Deutschland

Die Realisierbarkeit und Langzeitsicherheit eines unterirdischen Endlagers für radioaktive Abfälle hängt neben anderen Faktoren von den mechanischen Eigenschaften des umlagernden Gesteins, sowie dem krustalen Spannungsfeld und dessen Variabilität ab. Beide Faktoren beeinflussen die bautechnische Machbarkeit, die Auflockerungszone, die hydraulischen Eigenschaften, das Auftreten von Erdbeben und die potentielle Reaktivierung von Störungen, die als Migrationswege wirken könnten. Im Rahmen der Suche und Erkundung von Endlagerstandorten für radioaktive Abfälle in anderen Ländern (CH, S, B, FIN, USA etc.) kristallisierte sich die Erkenntnis heraus, dass etwa 40% der Standortindikatoren maßgeblich vom Spannungszustand beeinflusst werden.

Es existieren verschiedene Methoden, die Auskunft über Orientierung, Regime oder Magnitude des Spannungsfeldes in der Erdkruste liefern können. Solche Daten sind aber spärlich, ungleichmäßig verteilt und unvollständig, da sie nicht alle sechs unabhängigen Komponenten des Spannungstensors enthalten. Geomechanisch-numerische Modelle ermöglichen es, den Spannungstensor im 3-D-Raum abzuschätzen. Solche Modelle ermöglichen Spannungsprognosen sowohl für die Gegenwart, als auch für zukünftige Veränderungen in Folge geodynamischer Prozesse.

Ziel des SpannEnD-Projektes ist die Erstellung eines geomechanisch-numerischen lithosphärenskaligen Modells von Deutschland und dessen Umgebung. Ausgangsbasis ist ein Strukturmodell, das die wichtigsten geologischen und tektonischen Großstrukturen enthält. Unabhängig von zukünftigen Entscheidungen über Wirtsgestein und Ort eines potentiellen Endlagers ermöglicht dieses Modell eine grobe Vorhersage des 3-D-Spannungstensors. Essenziell ist die Kalibrierung des Modells an in-situ Spannungsdaten. Daher wird im Rahmen des Projekts die Erstellung einer umfassenden Datenbank für die aktuell verfügbaren Spannungsmagnituden vorgenommen, sowie eines Systems der Qualitätseinstufung solcher Daten. Weiterhin werden Werkzeuge zum Transfer von Randbedingungen von regionalen auf lokale Modelle entwickelt. Damit könnten dann Randbedingungen auf der Basis des Deutschlandmodells für kleinere Gebiete abgeleitet werden.

Danksagung:

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung des SpannEnD-Projektes beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen: 02E11637A), sowie dem Projektträger Karlsruhe für die Betreuung des Projektes.

I. Sass¹, K. Bär¹, J.-G. Fritsche²

¹ – Technische Universität Darmstadt, Schnittspahnstraße 9, 64287 Darmstadt

² – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Rheingaustraße 186, D-65203 Wiesbaden

Untergrundmodell Hessen 3D und Hessen 3D 2.0

Durch eine Betrachtung nicht nur des geogen vorhandenen tiefeothermischen Potenzials, sondern auch mittels einer Verschneidung mit konkurrierenden Nutzungen (Schutzgebiete, Verkehrswege etc.), möglichen Risiken (Seismizität) und Energiebedarfsanalysen (z.B. Karte der Wärmesenken) sind weitergehende Aussagen zur Standortvorauswahl tiefeothermischer Anlagen möglich. Durch eine an das Geothermische Informationssystem für Deutschland (GeotIS) angelehnte Methodik der Potenzialbetrachtung ist zudem ein Datenaustausch zwischen den Systemen möglich. Hier können interaktiv Schnittdarstellungen und Isolinienkarten aus dem Modell "Hessen 3 D" generiert werden.

Das Modell "Hessen 3 D" kann aber nicht nur in Hinsicht auf die Nutzung tiefer Geothermie, sondern auch allgemein von wesentlicher energiepolitischer Bedeutung sein, z.B. können Hinweise zu speziellen Fragestellungen im Zusammenhang mit weiteren hochaktuellen Themen wie Endlagersuche, Speicherung von Stoffen im tiefen Untergrund u.a. mit dem Modell "Hessen 3 D" geliefert werden.

Das Modell "Hessen 3 D" wird gerade für spezielle Fragestellungen erweitert (Hessen 3D 2.0).

Das als Basis für die geothermische Potenzialermittlung erarbeitete geologische 3-D-Modell wurde unter Verwendung der Software GOCAD und der zugehörigen Arbeitstechniken erstellt (Mallet, 2002). Es überdeckt die gesamte hessische Landesfläche von mehr als 21.000 km². Das Modell bildet die Oberflächen ("Top") stratigrafischer Einheiten ab, beginnend mit dem sogenannten "Prä-Perm" (untergliedert in "Mitteldeutsche Schwelle" und "Renoherzynikum mit Phyllit-Zone") über Rotliegendes, Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk bis zum Tertiär und Quartär als zusammengefasste Einheit.

Wegen der großen Modellfläche ist das Modell in 6 Submodelle unterteilt, die durch geologische Strukturgrenzen mit Hauptstörungen definiert sind, bzw. sich nach der aus der GÜK 300 abgeleiteten geologischen Strukturkarte von Hessen richten.

Seit 2012 ist das Modell in das Geothermische Informationssystem Deutschland (GeotIS) eingebunden. Es können sowohl statische geologische Schnitte angesehen als auch seit 2013 vertikale Schnitte und horizontale Schnitte (Isolinienkarten) in beliebiger Raumlage interaktiv erzeugt werden.

Thorsten Schäfer¹, Horst Geckeis² & Ulrich Noseck³

¹ – *Angewandte Geologie, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität (FSU) Jena*

² – *Karlsruhe Institut für Technology (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung (INE)*

³ – *Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) GmbH*

Grimsel Felslabor: In-situ Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit – Kristallin (KOLLORADO-e³)

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist es, das mechanistische Verständnis der Prozesse zu vertiefen, die unter naturnahen, endlagerrelevanten Bedingungen in geklüfteten Granitsystemen die Integrität der geotechnischen Barriere (kompaktierter Bentonit) beeinträchtigen und zu einem Austrag von Tonmineral-Nanopartikel assoziierten Radionukliden führen können. Dies umfasst die grundlegenden Mechanismen der Bentoniterosion unter glazialen Schmelzwasserbedingungen und der Nanopartikel-/Kolloidbildung am Übergang des Bentonit-Versatzes/Puffers zum Kristallin-gestein, die Radionuklidspeziation in solchen Systemen, insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Radionukliden und Kolloiden sowie die Wechselwirkungen von Kolloiden mit den Kluftmineraloberflächen. Die vom BMWi geförderten Aktivitäten von FSU Jena, KIT-INE und GRS (Förder-kennzeichen O2E11759A-C) sind eng verknüpft mit den Arbeiten im Rahmen des von der NAGRA koordinierten „Colloid Formation and Migration (CFM)“ Projektes (www.grimself.com) im Felslabor Grimsel. In dem sogenannten Long-Term-In situ Test (LIT) des CFM Projekts wurde über 4,5 Jahre das Verhalten von kompaktiertem Bentonit (Febex) in direktem Kontakt mit einer hydraulisch kontrollierten wasserführenden Scherzone im Kristallingestein untersucht. Das Experiment wurde im Frühjahr 2019 überbohrt und der 30 cm Durchmesser umfassende und ca. 80 cm lange Bohrkern steht nun den Partnern aus Japan, Korea, Finnland, England, Schweiz und Deutschland zur weiteren Charakterisierung zur Verfügung. In einem weiteren Ende 2018 gestarteten Experiment iBET (in situ Bentonit Erosion Test) wird durch Vergrößerung der eingesetzten kompaktierten Bentonitmasse (hier MX-80) und Kontakt mit einer höher transmissiven Kluft neben der Erosion auch der Prozess des gravitativen Massenverlusts der geotechnischen Barriere untersucht. Die experimentellen Arbeiten werden durch Modellrechnungen begleitet. Alle gewonnenen Informationen und Daten werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Langzeitsicherheit eines Endlagers im Kristallin kritisch bewertet. Der Vortrag gibt einen Einblick in den aktuellen Status des Projektes.

A. Skerencak-Frech¹, F. Rieder¹, M. Trumm¹, M. Altmaier¹, H. Geckeis¹

¹ – *Institut für Nukleare Entsorgung, KIT, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen*

Sorption von dreiwertigen Actiniden und Lanthaniden an Tonmineralien bei niedrigen und mittleren Ionenstärken

Sorptionsprozesse an Mineralphasen stellen im Kontext eines Endlagers für radioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen einen wichtigen Rückhalte Mechanismus für Radionuklide dar. Tonmineralien sind als Wirtgesteine u.a. von Interesse, da sie herausragende Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung von Metallkationen aufweisen.[1] Die Untersuchung und Quantifizierung der Wechselwirkung von Radionukliden mit Tonmineralien ist daher ein wichtiger Bestandteil von endlagerbezogenen Forschungsvorhaben. Ein Großteil der bisherigen Arbeiten zur Sorption von Radionukliden wurde in Lösungen geringer Ionenstärken durchgeführt. Untersuchungen in konzentrierteren Elektrolyten sind nur spärlich verfügbar.[2] Da die in Norddeutschland vorhandenen Formationen des Unterkreidetes Porenwässer mit stark erhöhten Ionenstärken (bis zu 5.7 M) aufweisen, ist die Untersuchungen der Wechselwirkung von Radionukliden mit Tonmineralien bei erhöhten Ionenstärken notwendig.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Sorption von Eu(III) und Cm(III) an Montmorillonit und Illit in verdünnten bis konzentrierten NaCl- und CaCl₂-Lösungen. Zusätzlich wird der Einfluss von Carbonat, welches einen der wichtigsten natürlich vorkommenden Komplexbildner darstellt, untersucht. Die Untersuchungen erfolgten sowohl durch klassische Batchexperimente, als auch mittels moderner spektroskopischer Methoden, geochemischer Modellierung und quantenchemischer Berechnungen. Hierbei wurden die entsprechenden log K_d-Werte ermittelt und die auftretenden chemischen Spezies und Sorptionsmechanismen auf molekularer Ebene aufgeklärt.

Danksagung: Teile dieser Arbeit wurde im Rahmen des BMWi finanzierten Verbundprojekts GRaZ (Geochemische Radionuklidrückhaltung und Zementalterationsphasen) durchgeführt.

[1] Geckeis, H., et al, Mineral–Water Interface Reactions of Actinides, *Chemical Reviews*, 2013, 113(2), 1016–1062.

[2] Schnurr, A., et al, Sorption of Cm(III) and Eu(III) onto clay minerals under saline conditions: Batch adsorption, laser–fluorescence spectroscopy and modeling, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2015. 151(0), 192–202.

H. Stück, F. Jähne-Klingberg, F. Bense

¹ – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“

Die Suche nach einem Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle mit der bestmöglichen Sicherheit ist nach dem Standortauswahlgesetz geregelt. Hiernach ist ein Gebiet nach §22 nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines von sechs Ausschlusskriterien erfüllt ist. Eines dieser Ausschlusskriterien sind „aktive Störungszonen“. Dabei werden Gebiete als Endlagerstandort ausgeschlossen, in dem Störungen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute bzw. während der letzten 34 Millionen Jahre aktiv waren. Auch betrifft dieses Kriterium Gebiete, die von sogenannten atektonischen Störungen gekennzeichnet sind, die in demselben Zeitraum aktiv waren.

In diesem Zusammenhang erörtert die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe u.a. die Auslegung einzelner Definitionen der im Gesetzestext verwendeten Begrifflichkeiten vor dem Hintergrund des aktuellen Stands der Wissenschaft und Forschung. Welche geologischen Elemente der Begriff einer Störung vereint, wie eine Störung aufgebaut und deren Aktivität definiert sein kann, wie man diese erkennt oder erfasst, soll anhand von unterschiedlichen Beispielen bzw. durch die Erörterung gängiger geologischer Methoden vorgestellt und diskutiert werden. Auch sollen hierbei diejenigen Elemente beleuchtet werden, die sogenannten atektonischen Ursprungs sein können.

Tim Vietor¹

¹ – NAGRA, *Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Schweiz*

Die kriteriengestützte Auswahl des besten Lagerstandortes für die radioaktiven Abfälle der Schweiz

Zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle ist in der Schweiz die geologische Tiefenlagerung gesetzlich vorgeschrieben. Die sicherheitsgeleitete Standortwahl erfolgt nach den Regeln eines gesellschaftlich breit abgestützten Planungsprozesses. Bei diesem sogenannten Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) handelt es sich um ein etappiertes Vorgehen mit klarer Aufgabenteilung zwischen der verfahrensleitenden Behörde, den Entsorgungspflichtigen, der unabhängigen Aufsicht und den weiteren Akteuren. Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) nimmt die Rolle einer technischen Expertenorganisation als Beauftragte der Entsorgungspflichtigen ein.

Zunächst hat die Nagra 2008 auf der Grundlage vorgegebener, ausschliesslich sicherheitstechnischer Kriterien sechs Gebiete als mögliche Standorte für ein Lager für Schwach- und Mittelaktive Abfälle (SMA) vorgeschlagen, von diesen eignen sich drei auch für Hochaktive Abfälle (HAA). Nach weiteren Untersuchungen der Nagra sind hieraus mit Beschluss der Schweizer Regierung Ende 2018 drei Gebiete in die letzte Phase der Standortwahl weitergezogen worden. Nach 3D-seismischen Untersuchungen werden in diesen drei Gebieten derzeit Tiefbohrungen durchgeführt. Auf der Basis aller geowissenschaftlichen Informationen führt die Nagra anschliessend anhand der Kriterien des Sachplans einen Standortvergleich durch und schlägt vermutlich 2022 die bestgeeigneten Gebiete für die beiden Tiefenlager vor. Ein sogenanntes Kombilager wird errichtet, wenn die besten Bedingungen für die beiden Lagerkategorien in einem Standortgebiet liegen und hierfür ausreichend Platz vorhanden ist.

In unserem Beitrag stellen wir das Vorgehen bei der Ausarbeitung der Gebietsvorschläge und der folgenden Einengungsschritte vor. Neben überzeugender technischer Arbeit bei der Entwicklung der Sicherheitskonzepte und einer methodischen Anwendung der Kriterien für die schrittweise Standortwahl ist die kontinuierliche Zusammenarbeit mit den betroffenen Regionen und Kantonen und eine offene Kommunikation gegenüber der Öffentlichkeit entscheidend für den Fortschritt des Schweizer Entsorgungsprogramms.

Vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) eingesetzten Regionalkonferenzen bringen in einem breit angelegten Partizipationsverfahren ihre Anliegen in das Verfahren ein. Die Regionalkonferenzen setzen sich zusammen aus Vertretern der Gemeinden, Interessengruppen sowie interessierten Einzelpersonen. In der Partizipation werden z.B. die Platzierung und Ausgestaltung der Oberflächenanlagen erörtert.

Die kriteriengeleitete, ausschliesslich sicherheitsgerichtete Standortwahl in Kombination mit einer breit angelegten Partizipation hat die Schweiz in den letzten 13 Jahren von der weissen Karte des Landes bis kurz vor das Rahmenbewilligungsgesuch geführt. In wenigen Jahre wird das Verfahren mit einem Rahmenbewilligungsgesuch zum Abschluss kommen und ein Regierungsentscheid über den Standort der Tiefenlager in der Schweiz wird 2029 gefällt werden. Nach der anschliessenden Genehmigung dieses Entscheids durch das Schweizer Parlament

besteht die Möglichkeit einen Volksentscheid herbeizuführen. Mit diesem Entscheid rechnen wir derzeit um 2031.

Jan von Harten¹, Miguel de la Varga^{1,2}, Florian Wellmann^{1,2}

¹ – Lehr- und Forschungsgebiet für Computational Geoscience and Reservoir Engineering, RWTH Aachen University

² – Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science, RWTH Aachen

Räumliche Interpolation und Simulation geologischer Eigenschaften unter Berücksichtigung regionaler Deformation

Die Interpolation räumlich korrelierter Daten mittels des Kriging Verfahrens hat eine lange Geschichte in geologischen Problemstellungen. Interpolierte oder simulierte stationäre Felder finden in der Geologie zum Beispiel Anwendung in der Abschätzung von Ressourcenvolumen und Strömungssimulationen.

Die genannten Verfahren beruhen auf einer Beschreibung der räumlichen Korrelation eines stochastischen Prozesses mithilfe eines Semivariogrammes oder einer Kovarianzfunktion. Hierzu werden die Distanzen zwischen bekannten Messwerten genutzt. Für die Interpolation werden zusätzlich die Distanzen zwischen Messpunkten und der zu interpolierenden, unbekannt Positionen benötigt. In der klassischen Geostatistik werden in der Regel euklidische Distanzen verwendet. Dabei geht man davon aus, dass die heutige Lage der tatsächlichen Orientierung zur Zeit der Entstehung der Heterogenität entspricht. Wenn eine Region nach dieser Entstehung aber eine signifikante Deformation erfahren hat, ist diese Annahme nicht mehr gültig. Anwendungen alternativer Distanzmetriken umfassen unter anderem geodesische Distanzen auf der Erdoberfläche und in Zeit gemessene Fließdistanzen in Flusssystemen. Bei der Interpolation von Gesteinseigenschaften in deformierten geologischen Arbeitsgebieten ist es, je nach Art der zu modellierenden Eigenschaft, sinnvoll, eine Distanzmetrik zu wählen, die die verformte Geometrie der Schichten widerspiegelt.

In dieser Arbeit werden Distanzen mithilfe eines Skalarfeldes definiert, welches bei der Erstellung von geologischen 3-D Modellen mit impliziten Methoden interpoliert wird und somit bereits vorhanden ist. Die errechneten Distanzen unterteilen sich in einen Teil der parallel zu den verformten Schichtgrenzen verläuft und einen Teil der senkrecht dazu steht.

Zum einen erlauben diese Distanzen eine einfache Nutzung von bekannten geostatistischen Methoden in deformierten Regionen, zum anderen ist es auch möglich, Anisotropien in Relation zum horizontalen ursprünglichen Sedimentationszustand des Gebietes zu definieren. In einfachen theoretischen Testfällen (Falten, überkippte Falten) zeigt der Algorithmus gute Ergebnisse. Durch manuelle Anpassungen können auch bei Störungen und Diskordanzen Ergebnisse erzielt werden, die Versatz bzw. Erosion ignorieren und somit einen Zustand vor den strukturgeologischen Verformungen darstellen.

C. Walther¹, B. Riebe¹, A. Ngezahayo², T. Schäfer³, S. Sachs⁴, V. Ustohalova⁵, H.W. Fischer⁶, V. Hormann⁶

¹ – Leibniz Universität Hannover, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (Verbundprojektkoordinator)

² – Leibniz Universität Hannover, Institut für Biophysik

³ – Friedrich–Schiller–Universität Jena, Institut für Geowissenschaften

⁴ – 4Helmholtz–Zentrum Dresden–Rossendorf, Institut für Ressourcenökologie

⁵ – Öko–Institut e.V.

⁶ – Universität Bremen, Institut für Umweltphysik

Transport- und Transferverhalten langlebiger Radionuklide entlang der kausalen Kette Grundwasser–Boden–Oberfläche–Pflanze unter Berücksichtigung langfristiger Veränderungen (Trans–LARA)

Für Langzeitsicherheitsnachweise potentieller Endlager gehen die gängigen radioökologischen Modelle in Störfallszenarien von einem Radionuklideintrag in die Biosphäre über den Wasserpfad aus. Neben dem Weg über Niederschlag und Bewässerung ist besonders der Eintrag über das oberflächennahe Grundwasser in den Boden interessant. Ziel ist es, ein tieferes Verständnis der komplexen Mechanismen des Radionuklidtransports aus dem Grundwasser über die ungesättigte Bodenzone in unterschiedliche Nutzpflanzen unter Einbeziehung klimatischer Veränderungen zu erlangen. Dies soll zu einer verbesserten Risikoabschätzung für die Exposition der Bevölkerung über lange Zeiträume führen. Einen wesentlichen Fortschritt bilden hierbei (a) die Aufklärung der Aufnahmemechanismen der Radionuklide in Nutzpflanzen (z.B. durch Transporter oder Kanäle), (b) die Wechselwirkung der Radionuklide mit Mineralphasen und der organischen Substanz im Boden sowie Pflanzenmetaboliten auf molekularer/zellulärer Ebene und (c) die Modell–Beschreibung der radionuklidspezifischen Transport- und Sorptionsprozesse aus dem Grundwasserleiter über die ungesättigte Bodenzone unter Verwendung eines Komponenten–additiven Oberflächenkomplexierungsmodells (SCM) bis hin zur Radionuklidaufnahme und –transfer durch die Pflanze mit anschließender Dosisbestimmung (Langzeitreihen der Biosphere Dose Conversion Factors (BDCF)). Dies ist ein Konzept, das eine über bisherige Transferfaktoren weit hinausgehende Aussagekraft besitzt und die Reduktion der Unsicherheiten in der Prognose bis hin zu langfristigen Klimaveränderungen erlaubt (nähere Informationen unter www.trans-lara.de).

Lisa Winhausen, Mohammadreza Jalali, Alexandra Amann, Florian Amann

¹ – RWTH Aachen

Water permeability of Opalinus Clay determined by different methods – A comparative experimental study

The Mesozoic shale formation Opalinus Clay (OPA) has been selected as host rock formation for high-level nuclear waste disposal in Switzerland. This formation has a very low permeability, high radionuclide retention ability and self-sealing capacity. In this context, understanding the physical behavior of Opalinus clay under various in-situ conditions plays a key role to select and design future nuclear waste repository sites.

The aim of this study is to compare different non-steady-state techniques, i.e. pulse decay (Brace et al., 1968), pressure transmission (Metwally and Sondergeld, 2011) and the oscillating pore pressure method (Kranz et al. 1990; Bernabé et al. 2006), to determine the hydraulic properties of OPA under various effective confining pressures. All of these techniques have their advantages and drawbacks. For the first two methods, leak tightness of the system is one of the basic prerequisites as well as the pressure equilibration of the rock sample to the prevailing pressure conditions. In contrast, the oscillating pore pressure method is less sensitive to these issues. However, this method, depending on the oscillation frequency, requires somewhat longer experimental times but benefits from its continuous measurement.

An additional aspect of this study is to determine the dependence of permeability and storativity with changing effective mean stresses. For this purpose, permeability experiments were conducted at varying fluid pressure gradients and confining pressures. We perform measurements on a cylindrical plug, drilled parallel to bedding from the shaly facies of OPA. We evaluate and compare the results of the different methods with respect to their dependency on effective mean stress and pore pressure changes. Additionally, we outline and assess the pros and cons of each technique.

Moritz Ziegler, Oliver Heidbach

¹ – *Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.6 Seismische Gefährdung und dynamische Risiken*

Quantifizierung von Unsicherheiten in 3D geomechanisch-numerischen Modellen des Spannungsfeldes

Gebirgsspannungen sind für die Standortauswahl und Langzeituntersuchungen zur Standortsicherheit eines geologischen Tiefenlagers für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle von zentraler Bedeutung. Da Informationen zu Spannungsmagnituden nur spärlich, punktuell und unvollständig vorliegen, sind 3D geomechanisch-numerische Modelle notwendig, um eine kontinuierliche Beschreibung des 3D Spannungszustandes zu erhalten. Um die Qualität der Modellergebnisse zu beurteilen, müssen die Modellunsicherheiten quantifiziert werden. Wir präsentieren hierzu einen Ansatz, der diese durch einen Mittelwert mit einer Standardabweichung darstellt. Im Testgebiet zeigen sich große Unsicherheiten in der modellierten Größe der maximalen horizontalen Spannung (SH_{max}). Die Standardabweichung liegt lithologieabhängig in der Größenordnung zwischen 15% und 30%. Die Standardabweichung der minimalen horizontalen Spannung (Sh_{min}) liegt dagegen unter 5% bis 20%, bei der Differenzspannung $S1-S3$ liegt sie zwischen 30% und 40%. Darüber hinaus stellen wir einen Ansatz vor, um die Unsicherheiten in den Modellergebnissen zu reduzieren, indem zusätzliche Information aus Formation Integrity Tests und beobachteter Seismizität verwendet werden. Dies führt zu einer signifikanten Verringerung der Unsicherheiten in den Modellergebnissen. Ausgedrückt in Standardabweichungen werden diese auf 5% bis 20% (SH_{max}), 4% bis 18% (Sh_{min}) bzw. 16% bis 20% ($S1-S3$) reduziert. Zusätzliche Quellen von Modellunsicherheiten sind in Verbindung mit Variabilitäten im geologischen Modell und Inhomogenitäten in den Materialeigenschaften zu erwarten. Deren Einfluss auf den resultierenden modellierten Spannungszustand wurde jedoch in den Arbeiten noch nicht berücksichtigt und ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung des iCross-Projektes beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen: 02NUK053D), der Helmholtz-Gemeinschaft (Förderkennzeichen: SO-093) und dem Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum.

Editoren:

Dr. Sarah B. Cichy, Dr. Sönke Reiche & PD Dr. Wolfram Rühak

Veranstalter:

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Eschenstraße 55, 31224 Peine

E-Mail dialog@bge.de

www.bge.de

www.einblicke.de



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**