

Relevanz der räumlichen und zeitlichen Heterogenität von Tonstein auf die Rückhaltung von Radionukliden

**Kurztitel/
ggf. Akronym:**

Endlager-Kolleg / TRANSFER

Projektziel:

Ziel ist es, im Rahmen einer Graduiertenschule mit zehn Promotionsvorhaben die heterogenen Eigenschaften des Tonsteins und deren Einflüsse auf die Rückhaltung von Radionukliden zu untersuchen. Damit soll ein quantitativ systemisches Verständnis für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in einem Multi-Barrieren-Endlager vermittelt und interdisziplinäre Kompetenzen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle, insbesondere zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, entwickelt werden. Mit dem erlangten Prozessverständnis werden die Parameteranforderungen für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU) im Standortauswahlverfahren optimiert.

Forschungsfeld:

Geowissenschaftliche Fragestellungen

Projektpartner:

GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung, Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Freie Universität Berlin (FUB), Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU Jena), Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen), Technische Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF), Universität Greifswald (UG)

**Budget
(Netto):**

2.035.200 € (BGE finanziert GFZ, FZJ, UFZ und KIT; Aufteilung der Gesamtkosten 4.132.800 € zwischen Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und der BGE)

Projektlaufzeit:

04.2026 – 03.2029

**Forschungsauftrags-
nummer:**

STAFuE-25-05-js

**Weiterführende
Informationen:** <https://www.transfer-gs.de>

Projektbeschreibung

Um potenzielle Standortregionen und Standorte für die Lagerung hochradioaktiver Abfälle auszuwählen, werden eine Reihe klar definierter Kriterien und Anforderungen (Ausschluss- und Abwägungskriterien, Mindestanforderungen; §§ 22 bis 24 StandAG) im Standortauswahlverfahren angewendet sowie die Ergebnisse der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU) berücksichtigt. Bei Tongesteinen als Wirtsgestein gibt es jedoch noch offene Fragen, die für die kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens relevant sind. Diese Fragen basieren auf spezifischen mineralogischen und geochemischen Zusammensetzungen sowie (skalenabhängigen) Heterogenitäten von Tonstein und spielen eine zentrale Rolle bei der Bewertung ihrer Eignung als Wirtsgestein für die Lagerung hochradioaktiver Abfälle.

In dem Forschungsvorhaben Endlager-Kolleg / TRANSFER werden im Rahmen von zehn Promotionsvorhaben die heterogenen Eigenschaften des Tonsteins und deren Einflüsse auf die Rückhaltung von Radionukliden untersucht. In zwei thematisch aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen werden folgende Forschungsthemen untersucht:

I. Wechselwirkungen von Radionukliden in Tonstein und mit Karbonaten

Im Zuge der Langzeitentwicklung eines Endlagers im Tongestein erfolgt im Nahfeld die Korrosion (abiotisch oder mikrobiell induziert) eines eisenbasierten Behälters für hochradioaktive Abfälle, wobei unterschiedliche Korrosions- und Sekundärphasen entstehen. Hierbei spielen unter anderem Karbonate (CaCO_3 , FeCO_3) eine Rolle. Darüber hinaus stellen Karbonate auch wichtige Bestandteile von Tonsteinen dar. Folgende Forschungsthemen werden im Rahmen von vier Promotionsvorhaben untersucht:

1. Immobilisierung von Plutonium (Pu) durch Karbonate im Endlagernahfeld (FUB)
2. Einfluss mikrobieller Aktivität auf die Immobilisierung von Plutonium im Endlagernahfeld (HZDR)
3. Immobilisierung von Strontium (Sr) und Radium (Ra) durch Karbonate (FZJ)
4. Elektrostatisches Oberflächenkomplexierungsmodell für Illit, angewandt auf potenziell endlagerrelevante Tongesteine (KIT-INE)

II. Eigenschaften von Tonsteinen und deren Bedeutung für die Barrierewirkung

Die Arbeiten untersuchen Prozesse, die sowohl für das Fern- als auch das Nahfeld eines Endlagers im Tongestein relevant sein können. Dabei geht es u. a. um die Quantifizierung heterogener Strukturen im Tongestein (Fernfeld) sowie ihre Skalierung auf verschiedenen Längenskalen.

Folgende Forschungsthemen werden im Rahmen von sechs Promotionsvorhaben untersucht:

5. Dreidimensionale Analyse der Nanoporenstruktur und Heterogenität deutscher Tonsteine im Kontext der geologischen Endlagerung radioaktiver Abfälle (UG)
6. Heterogenität des Opalinustons und ihr Einfluss auf den diagenetischen Fingerabdruck: Übertragbarkeit und Validierung an Tonformationen in Deutschland (GFZ)
7. Bis zu welchem Sand- und Karbonatgehalt funktionieren Selbstversiegelung und Selbstheilung in Tonsteinen? (RWTH Aachen)
8. Hochskalierung geologischer Heterogenitäten auf der Porenskala mit Deep Learning (DL) (FSU Jena)
9. Modellierung von Reaktionen an Oberflächen auf der Grundlage eines Phasenfeldansatzes zur Erfassung variabler Heterogenität (TUBAF)
10. Modellierung von Korrosion und Gasproduktion am Übergang Stahl-Bentonit unter Berücksichtigung der Gas- und Fluidmigration im Nah- und Fernfeld (UFZ)

Übergeordnetes Ziel ist es, ein quantitatives systemisches Verständnis für die Endlagerung hochradioaktiver Abfallstoffe in einem Multi-Barrieren-Endlager zu vermitteln. Dies beinhaltet insbesondere die Betrachtung des Transports von schwach, mittel und stark sorbierenden Radionukliden vom Nahfeld eines Endlagers bis ins Fernfeld durch die verschiedenen heterogenen Kompartimente und über alle trennenden und reaktiven Grenzflächen hinweg. Die in den Promotionsvorhaben erhobenen Daten sollen so skaliert werden, dass sie als Eingabeparameter für die Modellkette mit allen ihren Komponenten dienen können. Andererseits werden die geologischen und geotechnischen Barrieren mit ihren Porenraumstrukturen über Längenskalen vom Nanometerbereich bis zur Wirtsgesteinsskala betrachtet.

Ziel ist ein skalenübergreifendes Systemverständnis zu bekommen und ein Verfahren, basierend auf Daten aus Experimenten im Labor und Untertagelaboren zu entwickeln, um mithilfe von Modellen die Auswirkungen von Heterogenitäten im Tonstein auf die

Transporteigenschaften von Radionukliden abzubilden. Dabei ist die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse auf endlagerrelevante Tongesteinsabfolgen in Deutschland wichtig.

Die gewonnenen Erkenntnisse und Daten tragen zur Reduzierung von Ungewissheiten bezüglich des Migrationsverhaltens langzeitsicherheitsrelevanter Radionuklide bei und liefern damit einen wichtigen Beitrag zum Standortauswahlverfahren. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Bewertung von Standortregionen im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 27 StandAG. Mit diesem erlangtem Prozessverständnis werden die heterogenen Eigenschaften des Tonsteins quantitativ umfassender beschrieben und die Parameteranforderungen für die vSU optimiert, z. B. zur Parametrisierung von Modellen, mit denen die Langzeitsicherheitsbewertung der Endlagerung geführt wird.

Referenzen

StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist