

KIT
Universität des Landes Baden-Württemberg
und
nationales Forschungszentrum
in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 50

BMWf geförderte FuE-Vorhaben zur
„Entsorgung radioaktiver Abfälle“

Berichtszeitraum: 1. Juli - 31. Dezember 2015

Projektträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung
(PTKA-WTE)

März 2016

PTE-Berichte

Der Projektträger Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) informiert mit Fortschrittsberichten über den aktuellen Stand der von ihm administrativ und fachlich betreuten FuE.

Die Fortschrittsberichtsreihen behandeln folgende Themenschwerpunkte:

- Entsorgung radioaktiver Abfälle
(PTE Nr. x seit 1991, fortlaufend *)
- Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen
(PTE-S Nr. x seit 2001, fortlaufend)
- Nukleare Sicherheitsforschung
(PTE-N Nr. x seit 2010, fortlaufend)

Die Fortschrittsberichtsreihen sind online verfügbar: www.ptka.kit.edu/wte/287.php

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren bzw. die entsprechenden Forschungsstellen. Das KIT übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

** Bis Ende des Jahres 2011 wurde in dieser Fortschrittsberichtsreihe auch über die BMBF-geförderte FuE zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle informiert. Die FuE-Schwerpunkte „Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle“ und „Sicherheitsforschung für Bergbauregionen“ wurden zum 31.12.2011 beendet.*

Vorwort

Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) arbeitet das KIT seit 1991 als Projektträger auf dem Gebiet „Entsorgung“.

Im Rahmen dieses Auftrages betreut der Projektträger Karlsruhe fachlich und administrativ die vom BMWi im Rahmen des jeweilig gültigen Förderkonzepts geförderten FuE-Vorhaben. Seit Februar 2015 ist das Förderkonzept „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle“ (2015-2018) Grundlage der Projektförderung.

Die FuE-Inhalte sind in folgende *sechs FuE-Bereiche* aufgeteilt innerhalb derer Projekte gefördert werden können:

- Bereich 1: Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter
(Federführung PT GRS)
- Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl
- Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik
- Bereich 4: Sicherheitsnachweis
- Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen
- Bereich 6: Kernmaterialüberwachung (Safeguards)

Der vorliegende Fortschrittsbericht dokumentiert Stand und Ergebnisse dieser FuE-Vorhaben. Er wird vom Projektträger *halbjährlich* herausgegeben, um alle Beteiligten über die durchgeführten Arbeiten zu informieren.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

Teil 1 listet die FuE-Vorhaben auf, die dem jeweiligen FuE-Bereich zugeordnet sind.

Teil 2, der Hauptteil, enthält die „formalisierten Zwischenberichte“ zu den FuE-Vorhaben, die nach dem Förderkennzeichen geordnet sind. Im Förderkennzeichen bedeuten die Buchstaben

- E ⇒ „Entsorgung radioaktiver Abfälle“ und
- W ⇒ „Kernmaterialüberwachung“.

Teil 3 listet die FuE-Vorhaben, zugeordnet nach der jeweiligen Forschungsstelle, auf.

Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnis der Vorhaben gemäß FuE-Bereiche	1
1.1	<i>Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl</i>	<i>3</i>
1.3	<i>Endlagerkonzepte und Endlagertechnik.....</i>	<i>5</i>
1.4	<i>Sicherheitsnachweis</i>	<i>7</i>
1.5	<i>Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen.....</i>	<i>13</i>
1.6	<i>Kernmaterialüberwachung.....</i>	<i>15</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	17
2.1	VORHABEN BEREICH 1	17
2.2	VORHABEN BEREICH 2-5	23
2.3	VORHABEN BEREICH 6	177
	Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung	181
3	Verzeichnis der Forschungsstellen	183

1 Verzeichnis der Vorhaben gemäß FuE-Bereiche

1.1 Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter

1501509	Langzeitverhalten von Metall- und Elastomerdichtungen sowie Polyethylen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (LaMEP)	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	📖 18
1501510	Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast)	TU Dresden	📖 20

1.2 Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl

Bisher keine Vorhaben in diesem FuE-Bereich

1.3 Endlagerkonzepte und Endlagertechnik

02 E11082	Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA) Phase II – Generierung von Rissystemen einer Auflockerungszone im Korngrößenmaßstab und Überführung der Ergebnisse auf die Makroebene zur Simulation eines Injektionsvorganges	DBE Technology GmbH, Peine	📖 80
02 E 11092	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 1	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 82
02 E 11132	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Kurztitel: LASA	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 88
02 E 11152	Prozess-Simulation zur Konzeption von Stütz- und Dichtelementen für Schachtverschlüsse (ProSiD)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 92
02 E 11193A	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 98
02 E 11193B	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 100
02 E 11243	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborative und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Rekompaktionsverhalten der EDZ (LASA-EDZ)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 108
02 E 11253	Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung – Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 110
02 E 11263	Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Schachttransport schwerer Lasten bis zu 175 Tonnen Nutzlast (SULa)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 112
02 E 11294	Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen (ERNESTA)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 116

02 E 11385	Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 146
02 E 11395	Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschiechten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 148
02 E 11405C	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschiechten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt C	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 154
02 E 11425	Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 172
02 E 11435	MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von $MgCl_2$ -Lösung (MgO-SEAL)	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 174

1.4 Sicherheitsnachweis

02 E 10367	Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 24
02 E 10377	Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 26
02 E 10719	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 28
02 E 10729	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 30
02 E 10740	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 32
02 E 10750	Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgestein – Kurztitel: URSEL	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 34
02 E 10760	Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgesteinen – Kurztitel: URSEL	DBE Technology GmbH, Peine	📖 36
02 E 10810	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV1: Dr. Andreas Hampel)	Dr. Andreas Hampel, Mainz	📖 38
02 E 10820	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV5: TUC)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 40
02 E 10830	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV2: IfG)	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 42
02 E 10840	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV3: KIT-INE)	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-	📖 44


		Leopoldshafen	
02 E 10850	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV4: LUH-IUB)	Leibniz Universität Hannover	📖 46
02 E 10860	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV6: TUBS)	TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig	📖 48
02 E 10941	Erprobung und Weiterentwicklung moderner Methoden der Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis für ein künftiges Endlager - MOSEL	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 50
02 E 10951	Diffusion in kompaktiertem Salzgrus - DIKOSA	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 52
02 E 10961	Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 1: Karlsruher Institut für Technologie	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	📖 54
02 E 10981	Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 3: Universität Mainz	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	📖 56
02 E 10991	Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 4: Universität des Saarlandes	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 58
02 E 11001	Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 5: Technische Universität München	TU München	📖 60
02 E 11021	Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 7: Technische Universität Dresden	TU Dresden	📖 62
02 E11061A	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 64
02 E11061B	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 66
02 E11061C	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 68

02 E11062A	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 70
02 E11062B	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)	Friedrich-Schiller-Universität Jena	📖 72
02 E11062C	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)	Johann Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main	📖 74
02 E11072A	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart- K_d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 76
02 E11072B	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart- K_d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt HZDR	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 78
02 E11102	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 84
02 E11122	Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Sorelbeton in Salzformationen – Kurztitel: LAVA	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 86
02 E 11142	Performance Assessment of Sealing Systems - Kurztitel: PASS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 90
02 E11182A	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase - SAnToS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 94
02 E11182B	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase - SAnToS	DBE Technology GmbH, Peine	📖 96
02 E11203A	Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 102
02 E11203B	Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	📖 104
02 E11213	Qualifizierung der Rechenprogramme d^3f und r^3t , Kurztitel Quader	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 106

02 E 11284	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 114
02 E 11304	Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 118
02 E 11314	Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 120
02 E 11324	Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 122
02 E 11334A	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 124
02 E 11334B	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 126
02 E 11334C	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	📖 128
02 E 11344A	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 130
02 E 11344B	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	📖 132
02 E 11344C	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt C	Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald	📖 134
02 E 11344D	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt D	TU München	📖 136
02 E 11365	Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 140
02 E 11375A	Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt A	DBE Technology GmbH, Peine	📖 142

02 E 11375B	Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 144
02 E 11405A	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt A	DBE Technology GmbH, Peine	📖 150
02 E 11405B	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 152
02 E 11415A	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A	Johannes-Gutenberg Universität Mainz	📖 156
02 E 11415B	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 158
02 E 11415C	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	📖 160
02 E 11415D	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 162
02 E 11415E	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E	TU München	📖 164
02 E 11415F	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F	Universität Potsdam	📖 166
02 E 11415G	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G	TU Dresden	📖 168
02 E 11415H	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 170

1.5 Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen

- 02 E 11355** Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (Expander) **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**  138

1.6 Kernmaterialüberwachung

02 W 6263 Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden

**Forschungszentrum
Jülich GmbH**

 178

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 Vorhaben Bereich 1

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), 12200 Berlin		Förderkennzeichen: 1501509
Vorhabensbezeichnung: Langzeitverhalten von Metall- und Elastomerdichtungen sowie Polyethylen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (LaMEP)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2015 bis 30.09.2018	Berichtszeitraum: 01.10.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 373.351,03 EUR	Projektleiter: Dr. Jaunich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen Prognosemodelle zur Bewertung der Langzeiteignung von Metall- und Elastomerdichtungen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (TLB) entwickelt sowie weiterführende Erkenntnisse zur strahleninduzierten und thermischen Alterung des in TLB eingesetzten Neutronenabsorbers Polyethylen gewonnen werden.

Zuarbeit von der TU Dresden im Rahmen des Vorhabens 1501510 „StrukElast“ zu Struktureigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen zur differenzierten Bewertung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Metалldichtungen (M):

Zur Generierung neuer Erkenntnisse über das Verhalten von Metалldichtungen nach thermischer Belastung sollen experimentelle Untersuchungen an vorgealterten Dichtungen durchgeführt sowie Materialmodelle zur rechnerischen Abschätzung des Langzeitverhaltens der Metалldichtungen entwickelt werden.

Elastomerdichtungen (E):

Die experimentellen und numerischen Untersuchungen zu Elastomerdichtungen beschäftigen sich mit der Alterung von Elastomeren und dem Einfluss der durch diese hervorgerufenen Eigenschaftsänderungen auf die Dichtfunktion.

Polyethylen zur Neutronenabschirmung (P):

Im Rahmen dieses Arbeitspakets soll der Einfluss der Gammastrahlung in Kombination mit Alterung (Zeit und Temperatur) untersucht sowie eine Apparatur im Großmaßstab zur Bestimmung der Ausdehnungskoeffizienten bzw. des Kriechens der verwendeten Polyethylene gebaut und in Betrieb genommen werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- M: Es wurden Messungen der Dichtungscharakteristik an vorhandenen, gealterten Aluminium- und Silberdichtungen (Alterungsdauer 6,5 Jahre, Alterungstemperatur 150 °C bzw. Raumtemperatur) durchgeführt. Weiterhin wurden Prüfflansche gefertigt und erprobt.
- E: Ebenso wurden Messungen an vorhandenen Elastomerdichtungen durchgeführt und neue gealterte Proben aus den Alterungsöfen entnommen. Parallel dazu wurde mit der Überprüfung der Anwendbarkeit gängiger Alterungsmodelle wie dem Arrhenius-Ansatz begonnen.
- P: Die vorhandenen Polyethylen-Proben werden derzeit thermisch gealtert. Die Bestrahlung entnommener Proben wird vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- M: Die Untersuchungen an Dichtungen mit großem Torusdurchmesser werden fortgesetzt und Arbeiten an Dichtungen mit kleinem Torusdurchmesser begonnen.
- E: Die Untersuchungen an gealterten Dichtungswerkstoffen werden fortgesetzt und die Arbeit an geeigneten Prognosemodellen vertieft.
- P: Vorhandene Proben werden weiter charakterisiert und bisher nur thermisch gealterte Proben entsprechend bestrahlt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 1501510
Vorhabensbezeichnung: Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2015 bis 30.09.2018	Berichtszeitraum: 01.10.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 208.642,28 EUR	Projektleiter: Jun.-Prof. Dr. Wießner	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen für elastomere Dichtungsmaterialien erarbeitet werden, welche in Prognosemodellen zur Bewertung der Langzeiteignung von Elastomerdichtungen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (TLB) einfließen sollen. Als Ziel sollen belastbare Aussagen zur Langzeiteignung von Elastomerdichtungen in TLB in Abhängigkeit struktursensitiver elastomerspezifischer Werkstoffeigenschaften bereitgestellt werden.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um eine Zuarbeit zum Vorhaben 1501509 „LaMEP“ der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche zur Materialauswahl der Elastormischungen sowie zur Festlegung deren Variation
- AP2: Mischungsherstellung und Vulkanisation mit gezielter Rezepturvariation
- AP3: Charakterisierung von Strukturparametern der erzeugten Modellelastomere
- AP4: Charakterisierung der Modellelastomere hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften
- AP5: Charakterisierung des viskoelastischen Deformationsverhaltens
- AP6: Ermittlung charakteristischer Relaxationszeitspektren und Beschreibung des Spannungsrelaxationsverhaltens
- AP7: Erstellung von Modellen zur Beschreibung der Struktur-Eigenschafts-Korrelation
- AP8: Untersuchung gealterter Proben auf deren Struktur- und Eigenschaftsveränderungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Eine Datenbank-Recherche zu den in TLB eingesetzten Elastomerdichtungen wurde durchgeführt. In Abstimmung mit der BAM wurde eine weitere Präzisierung der zu erstellenden Modellelastomerrezepturen durchgeführt. Als 3 grundlegende Kautschuktypen für die Modellrezepturen wurden Fluorkautschuk (FKM), Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) und hydrierter Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (HNBR) festgelegt. Als verstärkende Füllstoffe für den Dichtungseinsatz wurden der mittelaktiver Verstärkungsruß N660 und gefällte Kieselsäure ausgewählt. Um anforderungsgerechte Elastomereigenschaften sicherzustellen wird für alle 3 Kautschuktypen die radikalische Vernetzung mittels organischer Peroxide vorgesehen. Weiterhin soll für EPDM- und HNBR-Kautschuk auch die Schwefelvernetzung untersucht werden. Für jeden der 3 grundlegenden Kautschuktypen wurde ein spezifischer verträglicher Weichmacher unter der Prämisse ausgewählt, dass eine möglichst hohe Kälteflexibilität mit hoher Wärmebeständigkeit und geringstmöglicher Migrationsneigung kombiniert ist. Für die Langzeitstabilität von FKM müssen zudem als Fluorwasserstoffakzeptoren Zinkoxid (ZnO) und Magnesiumoxid (MgO) eingesetzt werden. Darüber hinaus erfolgte für jeden Kautschuktyp die Festlegung einer füllstoff- und weichmacherfreien Basisrezeptur. Diese werden im späteren Verlauf des Vorhabens bezüglich Füllstoffart, Füllstoffgehalt, Weichmachergehalt und Vernetzungsdichte variiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Für die festgelegten Rezepturkomponenten werden konkrete kommerziell erhältliche Produkttypen festgelegt und in erforderlichen Mengen beschafft
- AP2: Herstellung der Modell-Elastomermischungen im Innenmischer unter Variation der in AP1 festgelegten Rezepturparameter, Vulkanisation von Prüfplatten und Prüfkörperentnahme, Einlagerung von Prüfkörpern für die definierte künstliche Alterung
- AP3: Charakterisierung der Strukturparameter der Modellelastomere...
- AP4: Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften der Modellelastomere, Spannungs-Relaxations-Messungen
- AP5: Charakterisierung des visko-elastischen Deformationsverhaltens, Masterkurvenerstellung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

2.2 Vorhaben Bereich 2-5

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 10367
Vorhabensbezeichnung: Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3; Wirtsgestein: unabhängig	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2007 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 3.224.600,00 EUR	Projektleiter: Reiche

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Inhalt des Vorhabens ist eine Umarbeitung und Anpassung des Programmpakets EMOS zur Analyse der Langzeitsicherheit von geologischen Endlagern für radioaktive Abfälle an moderne Softwareanforderungen. Dabei steht neben der Vereinheitlichung von verwandten Modulen und Versionen sowie der Einführung einheitlicher moderner Datenstrukturen insbesondere die Optimierung von Algorithmen und Ablaufstrukturen im Vordergrund. Moderne, anwendungsorientierte Benutzerschnittstellen werden realisiert. Die Ausgabemöglichkeiten werden erweitert und flexibilisiert. Bei der Umsetzung kommen moderne Programmiersprachen zum Einsatz.

Die Arbeiten dienen als Grundlage für die Durchführung von Modellrechnungen zur integrierten Analyse der Langzeitsicherheit in zahlreichen aktuellen und zukünftigen Projekten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Code-Analyse und Know-how-Transfer.

Alle Codeteile des Programmpakets werden sorgfältig erfasst, katalogisiert und analysiert. Tiefgehende Kenntnisse des Programmaufbaus werden von älteren auf jüngere Mitarbeiter transferiert.

AP2: Erarbeitung eines neuen Programmkonzepts.

In zwei Arbeitsschritten werden neue Konzepte für die Programmierung, für die Datenübergabe sowie für den Programmablauf entwickelt. Dafür werden moderne Strategien angewandt. Die Datenverwaltung wird über ein Datenbanksystem realisiert.

AP3: Codeumstellung und -entwicklung.

Das Arbeitspaket umfasst zwei Arbeitsschritte, von denen der erste die Umstellung aller vorhandenen Module auf eine moderne Programmiersprache unter Beachtung der Konzepte aus AP2 umfasst. Im zweiten Arbeitsschritt wird ein neuer Statistik-Rahmen für die Durchführung probabilistischer Analysen entwickelt.

AP4: Steuerung des Programmablaufs und Anbindung an externe Programme.

Die einzelnen unabhängigen Programmmodule werden in drei Arbeitsschritten miteinander sowie mit externen Programmen verknüpft. Im ersten Schritt werden die globale Programmablaufsteuerung und der Datentransfer zwischen den Modulen neu organisiert. Die weiteren Arbeitsschritte dienen dem Anschluss an externe Programme zur statistischen Analyse und zur grafischen Visualisierung von Ergebnissen.

AP5: Test und Dokumentation.

Im ersten Arbeitsschritt werden mehrere frühere Studien mit dem neuen Programmpaket detailliert nachgerechnet und mit den alten Ergebnissen verglichen. Der zweite Arbeitsschritt dient der ausführlichen Dokumentation der neuen Programme.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Im Rahmen des Wissens- und Erfahrungsaustauschs auf dem 6th US/German Workshop on "Salt Repository Research, Design and Operation" vom 7.-9.09. wurde RepoTREND vorgestellt.

AP2:

Die Erstellung des Konzepts für das RepoTREND-Nahfeldmodul NaTREND wurde fortgesetzt. In der aktuellen Arbeitsphase erfolgt eine Ausarbeitung der Basiskonzepte für grundlegende Programmstrukturen (Software-Architektur) und für entsprechende Modulbeschreibungen zur Datenerfassung in der grafischen Oberfläche XENIA.

AP3:

Es wurde mit der Entwicklung von grundlegenden Programmstrukturen für NaTREND begonnen. Der Fokus liegt aktuell auf der Entwicklung eines Frameworks zur einfachen Anbindung von neuen Effekten (wie z. B. Gebirgskonvergenz, Korrosion von Metallen, Umsetzung von unterschiedlichen Stoffen,...) in die Basisgleichungen.

Es wurden einige Optimierungen des Programmcodes RepoTREND vorgenommen. Hierfür wurden einige neue Features integriert, die mit der neuen Version C++14 zur Verfügung stehen. Diese Features helfen die Performance zu erhöhen sowie die Übersichtlichkeit des Programmcodes deutlich zu verbessern.

Der Rahmen für statistische Berechnungen RepoSTAR wurde überarbeitet und auf die neue Programmbibliothek Simlab 4 für Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen umgestellt. Simlab 4 wurde im Rahmen des Projekts MOSEL (FKZ 02E10941) entwickelt. In diesem Zusammenhang wurde zunächst das Modul zur Stichprobenziehung auf das Betriebssystem Linux portiert und in die Modulkette integriert. Weiterhin wurde das Feinkonzept für das Programm zur Auswertung statistischer Rechnungen entwickelt. Dieses Programm steht außerhalb der Modulkette und benötigt eine eigene, interaktive Bedienoberfläche. Diese Oberfläche, die im Rahmen vom Projekt MOSEL konzipiert wurde, wurde in ADEMOS entwickelt und in das RepoTREND-Programmpaket integriert. Das eigentliche, über diese Oberfläche zu steuernde Programm zur Auswertung der von RepoTREND produzierten Statistikdaten wurde programmtechnisch konzeptioniert und in wesentlichen Teilen realisiert. Die Programmkomponenten zur Durchführung von numerischen Unsicherheitsanalysen sowie zur Erzeugung bestimmter Diagramme (CCDF, Scatterplot, Histogramme) sind bereits funktionsfähig.

AP5:

Im Rahmen der durchgeführten Entwicklungsarbeiten wird der Programmcode stets getestet. Speziell die Bibliothek von automatisierten Testfällen wird gepflegt und weiterentwickelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterhin sollen für das Nahfeldmodul NaTREND relevante vorhandene Modelle und Konzepte identifiziert und evaluiert sowie eigene Konzepte erstellt werden.

Es sind systematische Tests mit den neu entwickelten Programmkomponenten zu RepoSTAR durchzuführen. Weiterhin müssen die Programmteile zur numerischen und grafischen Sensitivitätsanalyse erstellt und getestet werden.

Der Abschlussbericht zum Projekt ADEMOS ist zu erstellen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Reiche, T., Buhmann, D., Becker, D.-A., Lauke, Th.: RepoTREND – A Program System for Safety Analysis, 6th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation, 7.-9. September 2015, Dresden.

Reiche, T., Noseck, U., Schäfer, T.: Migration of Contaminants in Fractured-Porous Media in the Presence of Colloids: Effects of Kinetic Interactions, Transport in Porous Media, DOI 10.1007/s11242-015-0585-7, Oktober 2015, (http://rd.springer.com/article/10.1007/s11242-015-0585-7?wt_mc=internal.event.1.SEM.ArticleAuthorOnlineFirst).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 10377
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1; Wirtsgestein: Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 31.12.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 4.660.685,00 EUR	Projektleiter: Dr. Zhang

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat die Weiterentwicklung des Wissens zum thermisch-hydraulisch-mechanischen Verhalten von Tonstein, insbesondere im Nahfeld eines HAW-Endlagers, zum Ziel.

Dieses Ziel lässt sich untergliedern in:

- Die Erweiterung der Datenbasis zum THM-Verhalten des Tonsteins durch geeignete Experimente im Labor und in situ.
- Die Weiterentwicklung vorhandener Modellvorstellungen zur Verbesserung der Beschreibung und Berechenbarkeit des THM-Verhaltens des Tonsteins.
- Die Verbesserung bzw. Bereitstellung geeigneter Untersuchungsmethoden.

Diese Ziele werden durch die Beteiligung am neuen ANDRA-Forschungsprogramm für das Untertage-labor Bure (ULB) in den Jahren 2007 bis 2015 und am Mine-By-Experiment im Mont Terri Rock Laboratory (MTRL) erreicht. Neben dem generellen Erkenntniszuwachs sollen die im Rahmen dieses Vorhabens erzielten Ergebnisse bei der Verbesserung von Prozessmodellen sowie bei der Weiterentwicklung des Instrumentariums für die Langzeitsicherheitsanalyse für Endlager in Tongesteinen genutzt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: *In-situ-Untersuchungen* der mechanisch-hydraulischen Auswirkungen einer Tunnelauffahrung im MTRL auf das umgebende Tonsteingebirge. Diese Untersuchungen werden gemeinsam mit NAGRA, BGR und ANDRA durchgeführt, wobei GRS die Messung von Porenwasserdruck, Permeabilität und Sättigungsänderung übernimmt. Ein anderer In-situ-Test ist die Untersuchung zum Langzeitverformungsverhalten des Opalinuston im MTRL-URL.
- AP2: *Laboruntersuchungen* am Callovo-Oxfordian-Tonstein und Opalinuston zu Langzeitverformung, Quelldruck/Quellverformung, Schädigung und Verheilung sowie am Auffahrungsrückstand aus dem Bure-ULB als Versatzmaterial.
- AP3: *Modellierung* des Mine-By-Experiments, des Langzeitverformungsverhaltens eines Bohrlochtests und der THM-Laborversuche.
- AP4: *Modellentwicklung* für die Schädigung und Verheilung von Tonstein.
- AP5: *Ergebniszusammenführung und Berichterstattung*.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Drei triaxiale Kriechversuche zur Ermittlung des Kriechverhaltens von Tonsteinen mit geringerem Tonmineralanteil und höheren Anteilen von Sand- und Karbonatkomponenten sind im Lauf: zwei Proben aus der Opalinustonformation im Mont-Terri-URL und eine Probe aus der COX-Tonformation im Bure-URL.
- Die Wasseraufnahme der sandigen und karbonat-reichen Tonsteine wurde in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit bzw. der Saugspannung bestimmt.
- Die Verheilungsversuche an sandigen und karbonatreichen OPA und COX-Tonsteinen sind im Lauf. Die Proben wurden durch Spaltzugbelastung vorgeschädigt. Das Verheilungsvermögen der Tonsteine wird während der Durchströmung der Proben mit Tonformationswasser bei unterschiedlichen Spannungen ermittelt. Die dabei sich ändernde Permeabilität zeigt den Grad der Verheilung des Gesteins an.
- Die meisten Laboruntersuchungen zur Eignung des Ausbruchmaterials aus der Streckenauffahrung als Versatz- und Verschlussmaterial sind planmäßig beendet worden. Die geotechnischen Eigenschaften von Tonstein-Bentonit-Gemischen (60/40; 80/20) sind im Vergleich mit dem Bentonit-Sand-Gemisch (70/30) bestimmt worden, wie z. B.:
 - die Wasseraufnahmefähigkeit bei unterschiedlichen Luftfeuchten,
 - der Wassersättigungsprozess bei drucklosem Kontakt mit Tonformationswasser,
 - die Wasserpermeabilität,
 - der Gasdurchbruchdruck und die sich einstellende Gaspermeabilität
 - Bohrlochverschluss in einem Stahlrohr mit kompaktierten Gemisch-Blöcken.
- Zur Modellierung der Permeabilitätsänderungen bei Schädigung und Rekompaktion ist ein Ansatz formuliert worden. Die Implementierung dieses Permeabilitätsansatzes in das Rechenprogramm CODE-BRIGHT läuft beim Codeentwickler UPC/CIMNE.
- Aufgrund der Laborergebnisse wurden Stoffparameter für die Verschlussmaterialien (Tonstein-Bentonit-Gemisch, Bentonit-Sand-Gemisch und reiner Bentonit) ermittelt. Die im Labor beobachteten Wassersättigung und Quelldruckentwicklung in den Materialien wurden durch gekoppelte Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT zufrieden simuliert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Verheilungs- und Kriechversuche an sandigen und karbonatigen Tongestein
- Implementierung/Validierung des Permeabilitätsmodells (UPC/CIMNE)
- Bestimmung der Stoffparameter für den untersuchten Tonstein
- Fortführung der Modellierung der Verschlussmaterialien und des COX-Tonsteins

5. Berichte, Veröffentlichungen

Oral presentation by C.L. Zhang on the EUROCK2016 – European Rock Mechanics Symposium in Salzburg, 08. October, 2015: Deformation of Clay Rock under THM Conditions

Zhang C.L.: Deformation of Clay Rock under THM Conditions, Journal of Geomechanics and Tunneling 8 (2015), No.5, 426-435

Zhang, C.L.: The Stress-Strain-Permeability Behaviour of Clay Rock during Damage and Recompaction, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.001>

Oral presentation by C.L. Zhang on the EBS-Taskforce Meeting in Lausanne, Nov. 10-12, 2015: Experimental Study and Modelling of Bentonite-based Materials

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10719
Vorhabensbezeichnung: Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2; Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2009 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.429.690,00 EUR	Projektleiter: Dr. Wolf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben knüpft unmittelbar an die Ergebnisse des FuE-Vorhabens ISIBEL an. Ziel ist die Vervollständigung des bereits verfügbaren Instrumentariums zur technischen Realisierbarkeit und sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar.

Schwerpunkte bilden dabei die Entwicklung von alternativen Szenarien für den Sicherheitsnachweis, die Untersuchung der Anwendbarkeit von natürlichen Analoga, der Langzeitnachweis für Verschlussbauwerke, Untersuchungen von Instrumentarien auf Prozesslevel, die Analyse von Gasbildungs- und -transportprozessen sowie die konzeptionelle und numerische Umsetzung der Referenz- und Alternativszenarien in Modelle für den Langzeitsicherheitsnachweis. An Hand des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik wird untersucht, wie die neu gewonnenen Erkenntnisse und die Ergebnisse von bereits abgeschlossenen FuE-Vorhaben zu einem Sicherheitsnachweis zusammengeführt werden können.

Die gemeinsame Bearbeitung durch DBE TEC, BGR und GRS gewährleistet eine umfassende und ausgewogene Betrachtung aller Instrumente, die in den verschiedenen Teilen einer Sicherheitsanalyse erforderlich sind. Für die Untersuchungen zum Langzeitnachweis für Verschlussbauwerke wird außerdem das Institut für Endlagerforschung der TU-Clausthal hinzugezogen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung von alternativen Szenarien (gestrichen, s. Halbjahresbericht 2011/1)
 - AP2: Langzeitsicherheitsnachweis für Verschlusskonzepte
 - AP3: Untersuchungen von Instrumentarien für Prozessanalysen
 - AP4: Gasprozesse
 - AP5: Detaillierte Untersuchungen zum Referenzszenario und zu Alternativszenarien
 - AP6: Anwendbarkeit von Natürlichen Analoga
 - AP7: Abschlussbericht/Publikation der ISIBEL-Ergebnisse
 - AP8: Entwicklung einer Methodik zur anforderungsorientierten Konzeption eines HAW-Endlagers und zur Konzeptoptimierung
 - AP9: Arbeiten zum FEP-Katalog
- GRS ist federführend für die Arbeitspakete 3, 4, 5 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3: Die Erstellung der Abschlussberichte wurde begonnen.

AP4: Die Arbeiten sind abgeschlossen.

AP5: Die Überprüfung des für die Konsequenzenanalyse zur Verfügung stehenden probabilistischen Instrumentariums wurde abgeschlossen. Die Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen.

AP6: Die Arbeiten sind abgeschlossen.

AP7: Die Arbeiten sind abgeschlossen.

AP9: Teilnahmen an Treffen der NEA FEP Task Group. Es wurde an einem Test der neuen NEA FEP Datenbank teilgenommen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Erstellung des Abschlussberichtes zu den geochemischen Rechnungen und den hydrogeologischen Rechnungen.

AP5: Erstellung des Abschlussberichtes.

AP9: Teilnahme der GRS an weiteren Treffen der NEA FEP Task Group. Sobald wie möglich wird geklärt, wie der FEP-Katalog aus ISIBEL und VSG in die neu entwickelte Datenbank der NEA eingespeist werden kann.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10729
Vorhabensbezeichnung: Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2; Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2009 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.283.972,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben knüpft unmittelbar an die Ergebnisse des FuE-Vorhabens ISIBEL an. Ziel ist die Vervollständigung des bereits verfügbaren Instrumentariums zur technischen Realisierbarkeit und sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar.

In diesem Kontext werden speziell die Entwicklung von alternativen Szenarien, die Anwendbarkeit von natürlichen Analoga, der Langzeitsicherheitsnachweis für Verschlussbauwerke, Instrumentarien auf Prozesslevel, Gasbildungs- und -transportprozesse, die konzeptionelle und numerische Umsetzung der Referenz- und Alternativszenarien in Modelle, die Methodenentwicklung zur anwendungsorientierten Konzeption/Optimierung eines HAW-Endlagers sowie die Arbeiten zum FEP-Katalog fortgeführt. Anschließend wird analysiert, wie die neu gewonnenen Erkenntnisse und die Ergebnisse von bereits abgeschlossenen FuE-Vorhaben zu einem Sicherheitsnachweis zusammengeführt werden können.

Die gemeinsame Bearbeitung durch DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR und GRS gewährleistet eine vollständige und ausgewogene Betrachtung aller erforderlichen Instrumente für die Sicherheitsanalyse. Für die Untersuchungen zum Langzeitsicherheitsnachweis für Verschlussbauwerke wird außerdem das Institut für Endlagerforschung der TU-Clausthal hinzugezogen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung von alternativen Szenarien
- AP2: Langzeitsicherheitsnachweis für Verschlusskonzepte
- AP2A: Ergänzung des endzulagernden Inventars
- AP3: Untersuchungen von Instrumentarien für Prozessanalysen
- AP4: Gasprozesse
- AP5: Detaillierte Untersuchungen zum Referenzszenario und zu Alternativszenarien
- AP6: Anwendbarkeit von Natürlichen Analoga
- AP7: Abschlussbericht/Publikation der KOMTESSA-Ergebnisse
- AP8: Entwicklung einer Methodik zur anforderungsorientierten Konzeption eines HAW-Endlagers und zur Konzeptoptimierung
- AP9: Arbeiten zum FEP-Katalog

DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend für die Arbeitspakete 2, 2A, 7 und 8 tätig und weiterhin am AP3 und AP9 beteiligt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Langzeitsicherheitsnachweis für Verschlusskonzepte:
Der Abschlussbericht der TU Clausthal ist freigegeben, fertiggestellt und gedruckt.
- AP2A: Ergänzung des endzulagernden Inventars:
Der Abschlussbericht ist intern freigegeben und fertiggestellt.
- AP3: Thermomechanische Berechnungen:
Die Rechenergebnisse wurden im Abschlussbericht (s. u.) dokumentiert.
- AP7: Abschlussbericht:
Der englische Abschlussbericht wurde Anfang 2014 verteilt.
- AP8: Entwicklung einer Methodik zur anforderungsorientierten Konzeption eines HAW-Endlagers und zur Konzeptoptimierung:
An der Entwicklung einer Methodik zur anforderungsorientierten Konzeption eines HAW-Endlagers wurde weitergearbeitet. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass HAW-Endlager Unikate sind, bei deren Konzeptfindung einige Freiheitsgrade bestehen, wurde überprüft, in welchem Umfang übergreifende Anforderungen hergeleitet werden können oder aus regulatorischen Vorgaben zu übernehmen sind. Das für das Endlagersystem jeweils gewählte Sicherheitskonzept ist eine wesentliche Grundlage für die Herleitung von Anforderungen an Endlagerbehälter, die Transport- und Einlagerungstechnik sowie die Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. Gleichwohl bleibt die Freiheit, zwischen in Frage kommenden Varianten für die Endlagerkonzeption und Teilen davon (z. B. Verschlussbauwerke) zu entscheiden. Dies gilt grundsätzlich unabhängig vom Wirtsgestein.
- AP9: Arbeiten zum FEP-Katalog:
Der VSG-FEP-Katalog soll in die NEA-FEP-Datenbank übernommen werden. Der Entwurf der neuen NEA-IFEP-Liste wurde, unter Berücksichtigung der Erfahrungen in den deutschen Projekten, auf den Arbeitstreffen der NEA-Task-Group "FEP-Catalogue" diskutiert. Weiterhin wurde eine Testversion der neuen NEA-Datenbank gemeinsam mit GRS erprobt und die Erfahrungen sowie Anregungen und Kommentare in einer Stellungnahme der NEA mitgeteilt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP8: Die Planungs- und Untersuchungsarbeiten werden abgeschlossen und die Ergebnisse als Teil des Abschlussberichtes dokumentiert.
- AP9: Diskussion der neuen IFEP-Liste unter Berücksichtigung der Erfahrungen in den deutschen Projekten. Ermittlung der Rahmenbedingungen und des Prozedere beim Einstellen des VSG-FEP-Kataloges in die NEA-Datenbank.
- AP7: Nach Abschluss der Arbeiten an den anderen AP wird ein Abschlussbericht erstellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10740
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1; Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2010 bis 31.07.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.802.564,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kröhn	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (HAW) in geologischen Steinsalzformationen sieht die Einbringung verglasteter HAW-Kokillen, teils auch die direkte Endlagerung von 5 m langen Brennstabkokillen in tiefen vertikalen Bohrlöchern und die direkte Endlagerung von Brennelementen in selbstabschirmenden Pollux-Behältern in horizontalen Strecken vor. Einlagerungs-Bohrlöcher und -Strecken werden für den völligen Einschluss der Abfälle im Wirtsgestein mit artgleichem Salzgrusversatz verfüllt. Anhand der bisherigen Ergebnisse kann nicht sicher genug abgeschätzt werden, welcher Kompaktionsgrad und welche Restporosität/-permeabilität erreicht werden, und welche Konsequenzen sich für Langzeitsicherheitsanalysen ergeben.

Es wird ermittelt, welche Prozessabläufe hinsichtlich des vollständigen Einschlusses eine besondere Signifikanz besitzen. Experimentelle und modelltheoretische Arbeiten ergänzen die in Repoperm-1 erzielten Ergebnisse und dienen der Verbesserung der Stoffgesetze.

Ziel ist, den Wissensstand über das Stoffverhalten von Salzgrus im Bereich geringer Porositäten und Permeabilitäten zu verbessern und die relevanten Prozesse bei der Konsolidierung von Salzversatz zu ermitteln.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

- AP1: Relevante Szenarien und Randbedingungen
- AP2: Laborversuche
- AP3: Stoffgesetze und Modellrechnungen
- AP4: Auswertung und Berichterstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zwei kompaktierte Salzgrusproben wurden in die Messzellen eingebaut und aufgesättigt. Dabei ergaben Permeabilitätsmessungen, die über einen Zeitraum von drei Wochen durchgeführt wurden, dass schon der versuchsbedingte geringe Überdruck von 2 bar auf den Mantel der Probe eine erhebliche Kompaktion der hochgradig wassergesättigten Probe zur Folge hatte. Dies soll im Hauptversuch dadurch vermieden werden, dass die Proben mit Kunstharz in das zylindrische Rohr der Messzelle eingeklebt werden. Mithilfe von eingefärbtem Kunstharz konnte optisch gezeigt werden, dass die Eindringtiefe nur in Einzelfällen über einen Millimeter hinausging.

Bei dem anschließenden Versuch, neue Proben herzustellen, ist der Stahlzylinder, in dem der Salzgrus kompaktiert werden sollte, spontan geborsten. Dies macht umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, so dass bis auf weiteres keine neuen Proben hergestellt werden können. Aus diesem Grund werden für die jetzt anstehenden Versuche Ersatzproben verwendet, die zusammen mit den allerersten Proben hergestellt worden waren, die Zielpermeabilität aber nicht ganz getroffen haben. Diese Versuche sind angelaufen.

Die drei Proben aus dem Langzeitkompaktionsversuch wurden den Messzellenentnommen und vermessen. Danach wurden sie in Schritten von 20 °C aufgeheizt und der Wasserverlust notiert. Bei 150 °C war nach drei Tagen kein Wasserverlust mehr feststellbar. Danach wurden die Proben abgedreht sowie an den Stirnflächen plangeschliffen und erneut vermessen, um einen Anhaltspunkt für die Endporosität zu gewinnen. Die Bestimmung der Porosität steht jedoch noch aus.

Mit der Erstellung des Abschlussberichts zu den Arbeiten der GRS wurde begonnen. Die Berichtsteile der Verbundpartner werden gesammelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Bestimmung der Porosität der drei Proben aus dem Langzeitkompaktionsversuchs
- Korrektur der Messergebnisse zur Porositätsentwicklung im Langzeitkompaktionsversuch
- Beginn der nächsten Zweiphasenflussversuche
- Fertigstellung der THM-gekoppelten Modellierung
- Fortsetzung der Erstellung des Abschlussberichts

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 10750
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgesteinen – Kurztitel: URSEL	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1; Wirtsgestein: Salz	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 552.070,00 EUR	Projektleiter: Dr. Flügge

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aufbauend auf den Projekten ASTER und WIBASTA soll die deutsch-russische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Klärung methodischer Fragen der sicherheitlichen Bewertung aber auch der Standortcharakterisierung und -bewertung sowie der Konzeptoptimierung fortgesetzt werden.

Das Projekt orientiert sich an den von russischer Seite im Rahmen des föderalen Zielprogramms „Radiologische Sicherheit“ geplanten Arbeiten zur Erkundung des vorgesehenen Endlagerstandortes Jennissejskij für die erste Ausbaustufe eines Endlagers für gering wärmeentwickelnde langlebige Abfälle und eines Untertagelabors für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder hochradioaktiver Abfälle an diesem Standort.

Zur sicherheitlichen Bewertung eines potenziellen HAW-Endlagers in Russland sollen daher die Arbeiten aus ASTER und WIBASTA für das Untersuchungsgebiet Jennissejskij fortgesetzt und aktualisiert werden.

Insgesamt wird das Vorhaben dazu beitragen, die Wissensbasis und das Beurteilungsvermögen zu HAW-Endlagerkonzepten in magmatischen Wirtsgesteinen weiterzuentwickeln, um für die drei grundsätzlich in Frage kommenden Wirtsgesteine über eine wissenschaftlich fundierte Entscheidungsbasis zu verfügen. Die gemeinsame Bearbeitung durch DBE TECHNOLOGY, BGR und GRS gewährleistet eine umfassende und ausgewogene Betrachtung, die in den verschiedenen Teilen einer Sicherheitsanalyse erforderlich sind.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Ausgangsdaten und Sicherheitsnachweiskonzept
- AP2: Begleitung und Optimierung der weiterführenden Erkundungsarbeiten
- AP3: Auswertung der neuen Erkundungsergebnisse
- AP4: Optimierung des Endlagerkonzeptes
- AP5: Präzisierung des sicherheitsanalytischen Modells und Bewertung möglicher radiologischer Konsequenzen
- AP6: Vorläufige Bewertung der Robustheit und Sicherheit des Endlagersystems
- AP7: Projektkoordination

Die GRS ist beteiligt an den Arbeitspaketen 2, 5 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten zur Präzisierung des sicherheitsanalytischen Modells und zur Bewertung möglicher radiologischer Konsequenzen (AP5) wurden bereits im ersten Halbjahr des Jahres 2015 abgeschlossen. Ein Zwischenbericht zu den wesentlichen Ergebnissen wurde Ende des Jahres 2014 vorgelegt.

Die Bestimmung der hydraulischen Parameter der von den russischen Partnern übergebenen Gesteinsproben aus der Kernbohrung R12 wurde fortgeführt und mit der Bestimmung der Permeabilität für eine synthetische Lösung für die noch nicht untersuchten Kernproben abgeschlossen. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen wurden auf dem Projekttreffen am 25.8.15 mit BGR und DBETEC in Peine diskutiert und am 20.10.15 VNIPI PT vorgestellt.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen wurden bei der Erstellung des Abschlussberichtes aufgenommen.

Die Ergebnisse des Vorhabens URSEL wurden am 2. und 3. November 2015 auf der Eurosafe in Brüssel vorgestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung des Abschlussberichtes

Teilnahme am von VNIPI PT organisierten Workshop zur „Sicherheitsphilosophie der Endlagerung im Kristallingestein“ am 23. und 24. März 2016 in Moskau

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10760
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgesteinen – Kurztitel: URSEL		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2; Wirtsgestein: Kristallin		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 848.119,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielsetzung dieses Vorhabens besteht darin, für ein HAW-Endlager in magmatischen Gesteinen (z. B. Granit) mit einer komplexen geologischen Struktur einen methodischen Ansatz für die sicherheitliche Bewertung, Optimierung sowie Beurteilung der Robustheit des Endlagersystems und der Sicherheitlichkeitaussage zu erarbeiten und beispielhaft zu erproben. Im Unterschied zu den Endlagerkonzepten im Ton und Salz kann bei der Endlagerung im Granit nicht von einem vollständigen Einschluss der Abfälle durch das Wirtsgestein ausgegangen werden. Mögliche Einschränkungen des Isolationspotenzials der geologischen Barriere werden maßgeblich durch die vorhandenen Kluftsysteme und ihre wahrscheinliche weitere Entwicklung bestimmt. Im Zusammenhang mit der eingeschränkten Kenntnis über die aktuell und zukünftig vorliegenden Kluftsysteme und die damit verbundenen Unsicherheiten wird die Frage geklärt, inwieweit die Sicherheit sich auf weitere Rückhaltefunktionen der geologischen Barriere stützen kann und was die zusätzlichen technischen Barrieren leisten müssen, damit der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele mit einer hinreichenden Robustheit geführt werden kann.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Ausgangsdaten und Sicherheitsnachweiskonzept
- AP2: Begleitung und Optimierung der weiterführenden Erkundungsarbeiten
- AP3: Auswertung der neuen Erkundungsergebnisse
- AP4: Optimierung des Endlagerkonzeptes
- AP5: Präzisierung des sicherheitsanalytischen Modells und Bewertung möglicher radiologischer Konsequenzen
- AP6: Vorläufige Bewertung der Robustheit und Sicherheit des Endlagersystems sowie seine weitere Optimierung
- AP7: Projektkoordination

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, die Arbeitsergebnisse in einem gemeinsamen Abschlussbericht zu dokumentieren. Beschrieben wurde der erste Entwurf für ein Verfüll- und Verschlusskonzept für das geplante Endlager in Krasnojarsk. Sowohl die Einlagerungsbohrlöcher, die Einlagerungsstrecken, die Zugangsstrecken sowie insbesondere die Schächte sollen mit Abdichtmodulen versehen werden, die sich möglichst gegenseitig in ihrer Wirkung ergänzen.

Seitens der russischen Kollegen ist geplant, einen Teil der untertägigen Grubenräume zu einem Untertagelabor auszubauen. In diesem Untertagelabor sollen In-situ-Versuche durchgeführt werden, die bestehende Kenntnislücken im Zusammenhang mit der Langzeitsicherheit schließen sollen. Im Abschlussbericht werden sowohl die Zielsetzungen für das Untertagelabor detailliert beschrieben als auch Vorschläge unterbreitet, wie ein Arbeitsprogramm für das Labor zielgerichtet ausgearbeitet werden kann, das die bisherigen Arbeiten und Ergebnisse in den anderen Untertagelaboratorien in Skandinavien, der Schweiz und Canada als Grundlage verwendet.

Im Rahmen der Projektkoordination erfolgte die Vorbereitung und Durchführung eines weiteren deutsch-russischen Arbeitstreffens mit VNIPI PT am 20.10.2015 in Peine. Auf diesem Treffen wurden sowohl aktuelle Arbeiten als auch offene Fragen für eine zukünftige weitere Zusammenarbeit diskutiert. Im Zuge der zukünftigen Arbeiten sollen die einzelnen Abdichtbauwerke des bestehenden Verschlusskonzeptes einer ingenieurtechnischen Vorbemessung unterzogen werden, um eine Vorstellung von den tatsächlich notwendigen Dimensionen und Widerstandsfähigkeiten der Barrieren zu bekommen. In dem Zusammenhang soll auch geprüft werden, ob sich Kriterien für das Wirtsgestein (Klüftigkeit etc.) sicherheitsanalytisch ableiten und anwenden lassen, anhand derer sich zum einen die Positionierung von Dichtelementen und zum anderen die Positionierung der Einlagerungsbohrlöcher optimieren ließe. Weiterhin soll ein im Vergleich zu früheren Bearbeitungen realitätsnäheres detaillierteres dreidimensionales strukturgeologisch-hydrogeologisches Modell des Gesteinskomplexes als Grundlage für Transportmodellierungen entwickelt werden. Abschließend sollen die erarbeiteten Kenntnisse über die geohydraulischen Prozesse im Wirtsgestein und das geotechnische Barrierensystem (Behälter und Verschlussbauwerke) dazu genutzt werden, einen ersten, zunächst übersichtshaften FEP-Katalog zu erstellen. Dieser FEP-Katalog wird einen ersten Überblick über diejenigen Prozesse geben, die aus Sicht der deutschen Partner im Rahmen eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes zu betrachten sind.

4. Geplante Weiterarbeiten

Durchführung eines abschließenden Arbeitstreffens oder Workshops in Russland zur Vorstellung und Diskussion der Arbeitsergebnisse.

Termingerechte Erstellung eines gemeinsamen Abschlussberichtes zu diesem Verbundvorhaben.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Dr. Andreas Hampel, Grünberger Str. 56, 55129 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 10810
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV1: Dr. Andreas Hampel)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 30.09.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 632.854,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" (Laufzeit: 01.08.2007 bis 31.07.2010) fort.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einer realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund steht dabei nun das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung und Verheilung. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Durchführung eines Start-Workshops

AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche

AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte

AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse

AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner

AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner

AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen

AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung

AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger koordiniert das Vorhaben und betreut die Kooperation mit den Sandia National Laboratories. Er beteiligt sich an dem Stoffgesetzvergleich im Teilvorhaben 1 mit dem von ihm entwickelten Composite-Dilatanz-Modell (CDM) und verwendet für die Modellberechnungen der Untertagestrukturen das Finite-Differenzen-Programm FLAC3D (Itasca).

Im Berichtszeitraum führte der Zuwendungsempfänger Simulationsberechnungen zum Temperatureinfluss auf die Spannungs-, Verformungs- und Schädigungsentwicklung in den Steinsalztypen *clean salt* und *argillaceous salt* der Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) in New Mexico (USA) durch. Hierzu wurde jeweils ein vertikaler Schnitt durch die Kammern *Room D* und *Room B* der WIPP berechnet. Sandia hatte in den frühen 1980er Jahren die Sohle von *Room B* mit Erhitzern in 1000 Tagen bis auf 125 °C aufgeheizt, während der parallel liegende, gleich große *Room D* bei Gebirgstemperatur belastet wurde, und im jeweils umgebenden Steinsalz Messungen durchgeführt. Beim Vergleich der Berechnungsergebnisse der Partner untereinander haben sich in den Kurvenverläufen diverser Ausgabegrößen im Rahmen gewisser Streubreiten gute Übereinstimmungen ergeben. Der Vergleich mit In-situ-Konvergenzmessungen von Sandia hat allerdings gezeigt, dass einige Einflüsse auf das In-situ-Verhalten bei der Modellierung noch nicht ausreichend beschrieben werden. Daher soll die Modellierung von vier identifizierten Verformungsphänomenen in einem nachfolgenden Verbundprojekt weiterentwickelt werden.

Arbeiten und Ergebnisse aus dem Verbundprojekt präsentierte der Zuwendungsempfänger auf dem 6th US-German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operation am 07.-09.09.2015 in Dresden. Ferner führte er gemeinsam mit den Partnern die Projektworkshops Nr. 19 am 23.-24.07. in Braunschweig, Nr. 20 am 05.-06.09. in Leipzig, Nr. 21 am 21.-22.10. in Braunschweig sowie Nr. 22 am 24.-25.11. wiederum in Leipzig durch.

4. Geplante Weiterarbeiten

In 2016 wird der Zuwendungsempfänger zunächst den Abschlussbericht zu seinem Teilvorhaben verfassen und anschließend den gemeinsamen Synthesbericht zum Gesamtvorhaben für alle Partner erstellen. Die Arbeiten und Ergebnisse wird er zusammen mit den Partnern auf dem Projektworkshop Nr. 23 am 18.-19.01. in Karlsruhe diskutieren und am 25.02.2016 auf der Abschlussveranstaltung zum Verbundprojekt einem interessierten Fachpublikum präsentieren.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Literatur zum CDM-Stoffgesetz und zum aktuellen Verbundprojekt:

A. Hampel (2015): Description of damage reduction and healing with the CDM constitutive model for the thermo-mechanical behavior of rock salt. *) S. 301-310.

A. Hampel, R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, A. Pudewills, S. Yildirim, R. Rokahr, A. Gärken, C. Missal, J. Stahlmann, K. Herchen & K.-H. Lux (2015): Joint Project III on the comparison of constitutive models for the thermo-mechanical behavior of rock salt – I. Overview and results from model calculations of healing of rock salt. *) S. 349-359.

K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, D. Naumann, T. Popp, A. Hampel, K.-H. Lux, K. Herchen, U. Düsterloh, J.G. Argüello & F. Hansen (2015): Joint Project III on the comparison of constitutive models for the thermo-mechanical behavior of rock salt – II. Extensive laboratory test program with clean salt from WIPP. *) S. 3-12.

U. Düsterloh, K. Herchen, K.-H. Lux, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Hampel, J.G. Argüello & F. Hansen (2015): Joint Project III on the comparison of constitutive models for the thermo-mechanical behavior of rock salt – III. Extensive laboratory test program with argillaceous salt from WIPP and comparison of test results. *) S. 13-21.

*) In: L. Roberts, K. Mellegard & F. Hansen (Hrsg.): Proc. of the Conference on Mechanical Behavior of Salt, Saltmech VIII, South Dakota School of Mines & Technology, Rapid City, SD, USA, 26.-28.05.2015, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02840-1.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 10820
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV5: TUC)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 791.203,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" (Laufzeit: 01.08.2007 bis 31.07.2010) fort.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffmodell und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung an realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund stehen dabei nunmehr das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung (Verheilung) von Steinsalz. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffmodellfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Durchführung eines Start-Workshops
- AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche
- AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte
- AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse
- AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner
- AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner
- AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum führten die Projektpartner am 23./24. Juli 2015 in Braunschweig, am 05./06. September 2015 in Leipzig, am 21./22. Oktober in Braunschweig und am 24./25. November in Leipzig jeweils einen Projekt-Workshop durch. Auf dem ersten Projekt-Workshop in Braunschweig wurden von den Projektpartnern Re-Simulationen von Laborversuchen sowie modifizierte numerische Simulationsergebnisse zur Situation „Room D“ und „Room B“ in der WIPP-Site verglichen und diskutiert. Der Zuwendungsempfänger präsentierte weiterführende Berechnungsergebnisse der Untertagesituation „Room B“. Bei diesen Berechnungen handelt es sich um die Re-Simulation eines durchgeführten Erhitzerexperiments in einer offenen untertägigen Kammer in der WIPP-Site, bei dem versuchsbegleitend Temperatur- und Konvergenzmessungen im Gebirge und der Kammer erfolgten. Diese In-Situ-Daten dienen als Vergleichsgrößen für die numerischen Simulationen. Die von den Partnern vorgestellten Ergebnisse zeigten, dass eine weitere Modifizierung der bei allen Partnern vereinheitlichten Hohlraumgeometrie sinnvoll ist. Für den nachfolgenden Workshop in Leipzig wertete der Zuwendungsempfänger die daraufhin überarbeiteten Berechnungsergebnisse aus und stellte diese für den gemeinsamen Ergebnisvergleich zur Verfügung. Auf diesem Workshop in Leipzig wurde eine weitere Verbesserung der Temperaturbeaufschlagung auf die Hohlraumkontur beschlossen. Die daraus resultierenden Ergebnisse übergab der Zuwendungsempfänger für weiterführende Ergebnisvergleiche auf den beiden nachfolgenden Workshops. Mit diesen Arbeiten konnten vom Berichtersteller alle numerischen Simulationen des Vorhabens erfolgreich abgeschlossen werden.

Neben den Arbeiten für die numerischen Simulationen wirkte der Zuwendungsempfänger an der Projektbeschreibung für ein mögliches nachfolgendes Verbundvorhaben mit und begann mit der Erstellung des Endberichts zum aktuellen Vorhaben.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird den Endbericht zum laufenden Vorhaben fertig stellen sowie den Abschlussworkshop des Verbundvorhabens gemeinsam mit den anderen Projektpartnern vorbereiten und in Clausthal-Zellerfeld am 25. Februar 2016 durchführen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Düsterloh, U., Herchen, K., Lux, K.-H., Salzer, K., Günther, R.-M., Minkley, W., Hampel, A., Argüello, J.G. & Hansen, F.D. 2015. Joint Project III on the Comparison of Constitutive Models for the Thermo-Mechanical Behavior of Rock Salt - III. Extensive laboratory test program with argillaceous salt from WIPP and comparison of test results.

Hampel, A., Gärken, A., Missal, C., Stahlmann, J., Günther, R.-M., Salzer, K., Minkley, W., Herchen, K., Lux, K.-H., Pudewills, A., Yildirim, S. & Rokahr, R. 2015. Joint Project III on the Comparison of Constitutive Models for the Thermo-Mechanical Behavior of Rock Salt - I. Overview and results from model calculations of healing of rock salt. of the 8th Conference, 26-28 May 2015, South Dakota School of Mines & Technology, Rapid City, SD, USA, p. 349-359. London: Taylor & Francis Group (Balkema).

Salzer, K., Günther, R.-M., Minkley, W., Naumann, D., Popp, T., Hampel, A., Lux, K.-H., Herchen, K., Düsterloh, U., Argüello, J.G. & Hansen, F.D. 2015. Joint Project III on the Comparison of Constitutive Models for the Thermo-Mechanical Behavior of Rock Salt - II. Extensive laboratory test program with clean salt from WIPP.

Alle Veröffentlichungen in: L. Roberts, K. Mellegard & F. Hansen (eds.), The Mechanical Behavior of Salt VIII, Proceedings of the 8th Conference, 26-28 May 2015, South Dakota School of Mines & Technology, Rapid City, SD, USA, p. 3-12. London: Taylor & Francis Group (Balkema).

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 10830
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV2: IfG)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 977.150,00 EUR	Projektleiter: Dr. Salzer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" fort. Im März 2013 erfolgte eine Verlängerung für die WIPP-site-spezifischen Untersuchungen.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einer realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund steht dabei nun das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung (Verheilung). Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Durchführung eines Start-Workshops
- AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche
- AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte
- AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse
- AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner
- AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner
- AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum führten die Partner am 23./24. Juli und am 21./22. Oktober in Braunschweig sowie am 5./6. September und am 24./25. November in Leipzig, jeweils einen Projekt-Workshop durch. Auf den Workshops wurden Berechnungsergebnisse zu den gemeinsam vereinbarten und von allen Partnern zu berechnenden Untertagestrukturen vorgestellt und besprochen. Außerdem wurden Labor- und In-situ-Daten sowie Modellansätze zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz diskutiert und die Rahmenbedingungen für weitere Modellberechnungen gemeinsam festgelegt.

Das vorliegende Teilvorhaben 3 beteiligt sich mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell nach Minkley und dem Erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz nach Günther/Salzer am Stoffgesetzvergleich. Dabei wird das Programm FLAC3D (Fa. Itasca) verwendet. Außerdem war das IfG maßgeblich an der Planung und Durchführung der Laborversuche zur Ableitung der Stoffmodellparameter beteiligt und führte ergänzende Messungen am Dammjoch durch.

Das IfG hat den 19., 20., 21. und 22. Projekt-Workshop gemeinsam mit den Partnern vorbereitet und durchgeführt. Auf den Workshops wurden die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten sowie der Zusammenarbeit mit Sandia National Laboratories vorgestellt und diskutiert.

Dabei schafft das 2014 durch IfG und TUC abgeschlossene Laborversuchsprogramm die Voraussetzungen für die Durchführung der in der Verlängerungsphase geplanten Benchmark-Berechnungen für Room B und D in der WIPP-site mit bzw. ohne Erhitzer, wobei im zweiten Halbjahr 2015 ergänzende Erläuterungen zur Durchführung dieser Versuche übergeben wurden.

Im zweiten Halbjahr 2015 wurde durch das IfG die Auswertung der zusätzlichen Untertagemessungen zur Bestimmung des Einspannungszustandes und der Dilatanz in Firste, Ulme und Sohle vor sowie im Bereich des Dammjoches in der Valberger Strecke der Grube Asse bis auf eine Bohrung abgeschlossen.

Außerdem hat das IfG die Nachrechnungen der Laborversuche am „clean salt“ sowie am „argillaceous salt“ mit beiden Stoffmodellen sowie die Modellierungsarbeiten zu Room D und B abgeschlossen. Zusätzlich wurden Modellierungsarbeiten zum Room D und B mit einer Reihe von Parametervariationen für ein besseres Verständnis der wesentlichen am Room D und B ablaufenden Verformungs- und Entfestigungsprozesse mit dem Günther/Salzer Modell durchgeführt. Diese Untersuchungen belegen die Notwendigkeit, das Verständnis des Kriechverhaltens bei kleinen Deviatorspannungen, der beim Zugversagen ablaufenden Verformungs- und Entfestigungsprozesse sowie des Spannungs-Verformungsverhaltens von Kontaktflächen zu vertiefen, wie das in einem weiteren Forschungsvorhaben der Projektgruppe vorgesehen ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Quartal 2016 wird die Auswertung der Untertagemessungen zur Bestimmung des Einspannungszustandes und der Dilatanz am Dammjoch abgeschlossen und der Vergleich mit den Modellierungsergebnissen unter Berücksichtigung der Verheilung durchgeführt.

Außerdem werden der Einzelbericht des Teilvorhabens 3 fertiggestellt und zwei Vorträge auf der Abschlussveranstaltung am 25. Februar in Clausthal-Zellerfeld gehalten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Aktuelle Literatur zu den IfG-Stoffgesetzen:

R.-M. Günther, K. Salzer, T. Popp & C. Lüdeling (2015): Steady-State Creep of Rock Salt: Improved Approaches for Lab Determination and Modelling.

Rock Mechanics and Rock Engineering, ISSN 0723-2632, Volume 48, Number 6, p. 2603-2613

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 10840
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV3: KIT-INE)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 302.359,00 EUR	Projektleiter: Pudewills	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" (Laufzeit: 01.08.2007 bis 31.07.2010) fort.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einer realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund steht dabei nun das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung (Verheilung). Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Durchführung eines Start-Workshops
- AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche
- AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte
- AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse
- AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner
- AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner
- AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum vom 01. 07 bis 31. 12. 2015 wurden die im INE vorhandenen Stoffmodelle zu neueren Labormessungen an Steinsalz und Tonsalz aus der WIPP - Formation in Carlsbad, NM, USA angepasst. Weitere Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung bei höheren Temperaturen für die ausgewählte In-situ-Struktur, „Room B“ wurden durchgeführt.

Darüber hinaus wurde bei diesen Modellberechnungen die Geometrie der Streckenquerschnitte an die realen In-situ-Situationen angepasst. Es wurden die Rechenergebnisse der Simulationen ausgewertet und in tabellarischer Form an den Koordinator zur vergleichenden Zusammenstellung im Rahmen des Workshops 22 und 23 weitergeleitet. In der letzten Phase des Projekts wurde ein intensiver Vergleich der Benchmark-Rechenergebnisse mit In-situ-Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse aller beteiligten Partner wurden zusammengefasst und sollen im Rahmen der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 25. Februar 2016 in Clausthal präsentiert werden. Mit dem Verfassen des Einzelberichts wurde bereits begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endet am 31.03.2016. Ein ausführlicher Abschlussbericht ist weitgehend fertiggestellt, er soll demnächst als KIT-Bericht veröffentlicht werden.

Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf den „7th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operation“, in Washington, USA, in mehreren Vorträgen präsentiert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

PUDEWILLS, A. (2011): Numerische Simulation zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz, BMBF - Verbundprojekt 02C1597, Einzelbericht zum Teilprojekt 3, KIT Scientific Reports, KIT-SR 7579.

HAMPEL, A. GÜNTHER R.-M., SALZER K., MINKLEY W., PUDEWILLS A., YILDIRIM S., ROKAHR R., GÄHRKEN A., MISSAL C., STAHLMANN J., HERCHEN K., LUX K.-H.: Joint Project III on the comparison of constitutive models for the thermo-mechanical behavior of rock salt: I. Overview and results from model calculations of healing of rock salt. Mechanical Behavior of Salt VIII; pp. 349-358, Proc. of intern. Conf., Rapid City, SD, USA, May 26-28, 2015, L. Roberts, K. Mellegard & F. Hansen (eds.), CRC Press, Taylor & Francis Group (Balkema), ISBN: 978-1-138-02840-1

PUDEWILLS, A.: Numerical Analysis of a Drift Intersection in a Waste Repository in Rock. Mechanical Behavior of Salt VIII; pp. 419-425, Proc. of intern. Conf., Rapid City, SD, USA, May 26-28, 2015, L. Roberts, K. Mellegard & F. Hansen (eds.), CRC Press, Taylor & Francis Group (Balkema), ISBN: 978-1-138-02840-1

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 10850
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV4: LUH-IUB)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 391.592,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rokahr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" (Laufzeit: 01.08.2007 bis 31.07.2010) fort.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einer realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund steht dabei nun das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung (Verheilung). Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Durchführung eines Start-Workshops
- AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche
- AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte
- AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse
- AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner
- AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner
- AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden vom Zuwendungsempfänger ausführliche Simulationsberechnungen zum Room B der WIPP-Site durchgeführt und die Berechnungsergebnisse vorgestellt und mit den Projektpartnern besprochen. Das Berechnungsmodell wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern nachträglich verfeinert und an weiteren Simulationsberechnungen zu Room B und Room D angewendet. Der Room B wurde ebenfalls nach Absprache mit den Projektpartnern ein weiteres Mal ohne die zusätzlichen Anhydrit- und Polyhalit-Schichten berechnet. Außerdem wurde mit dem Erstellen des Endberichts begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Berechnungen zur WIPP-Site sollen abgeschlossen, vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert werden. Die im Projektzeitraum durchgeführten Arbeiten und erarbeiteten Ergebnisse sollen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in einer Abschlussveranstaltung vorgestellt werden. Die Arbeiten am Endbericht sollen weitergeführt und abgeschlossen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hauck, R. (2001): Tragverhalten tiefliegender Salzkavernen bei atmosphärischem Innendruck
 Hampel, A., O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, D. Zapf, R. Rokahr, A. Pudewills (2007): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. Abschlussbericht (Einzelberichte + Synthesebericht) z. BMBF-Verbundprojekt (FKZ 02C1004-1054), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger PTKA-WTE.
 Schulze, O., U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, A. Pudewills, R.-M. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, R. Rokahr & D. Zapf (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations.
 Hou, Z., R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison.
 Leuger, B., Staudtmeister, K., Yildirim, S., Zapf, D. (2010): Modeling of creep mechanism and damage of rock salt. Proceedings of the 7th european conference on numerical methods in geotechnical engineering, T. Benz, St. Nordal, London, UK, S. 89-94.
 Hampel, A., R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, A. Pudewills, B. Leuger, D. Zapf, R. Rokahr, K. Herchen, R. Wolters, U. Düsterloh (2010): Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz. Abschlussbericht (Einzelberichte + Synthesebericht) z. BMBF-Verbundprojekt (FKZ 02C1577-1617), Karlsruher Institut für Technologie, Projektträger PTKA-WTE.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 14, 38106 Braunschweig		Förderkennzeichen: 02 E 10860
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV6: TUBS)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1; Wirtsgestein Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2010 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 405.066,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Stahlmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, TU Clausthal, IfG Leipzig, KIT Karlsruhe, Universität Hannover und TU Braunschweig (FKZ 02E10810 bis 02E10860) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque (NM, USA).

Das Vorhaben setzt inhaltlich die beiden BMBF-Verbundprojekte "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) und "Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten von realen Untertagebauwerken im Steinsalz" (Laufzeit: 01.08.2007 bis 31.07.2010) fort.

In diesem BMWi-Verbundprojekt führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einer realen Untertagestruktur im Steinsalz durch. Im Vordergrund steht dabei nun das thermo-mechanische Verhalten und die Schädigungsrückbildung (Verheilung). Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Durchführung eines Start-Workshops
- AP2: Planung, Durchführung und Auswertung spezifischer Laborversuche
- AP3: Nachrechnung der Laborversuche, Bestimmung salztypspezifischer Kennwerte
- AP4: 3D-FDM/FEM-Modellierung der Untertagestrukturen, Auswertung der Ergebnisse
- AP5: Durchführung weiterer Workshops und Abstimmungen der Projektpartner
- AP6: Erstellung detaillierter Einzelberichte durch die Projektpartner
- AP7: Vergleich der Ergebnisse, Ausarbeitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- AP8: Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts und Veröffentlichung der Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger beteiligt sich an dem Stoffgesetzvergleich im Teilvorhaben 6 mit dem Stoffmodell für Steinsalz TUBSSalt (bisher als Döring bzw. IGB-TUBS bezeichnet) und verwendet für die Modellberechnungen der Untertagestrukturen zurzeit das Finite-Differenzen-Programm FLAC3D der Fa. Itasca sowie das Finite-Elemente-Programm ANSYS der Fa. ANSYS.

Im Berichtszeitraum stand die Simulation von Room D und Room B der WIPP im Fokus. Im Laufe von jeweils zwei Workshops in Braunschweig und Leipzig wurden erste Ergebnisse zu Room B vorgestellt. Aufgrund weiterer Berichte zu diesen Versuchen und einer Abstimmung mit Sandia National Laboratories wurden die Temperaturrandbedingungen und die Modellgeometrie angepasst und auf dieser Basis weitere Berechnungen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Einfluss unterschiedlicher Modellierung der verschiedenen Schichten untersucht.

Der Zuwendungsempfänger hat die Aufgabe der Sammlung und Aufbereitung der Rechenergebnisse auch weiterhin übernommen und diesen Vorgang für alle beteiligten Partner vereinfacht und optimiert.

Zum Ende des Berichtszeitraumes wurden erste Absprachen bzgl. des Laufzeitendes des Vorhabens getroffen. Dies betrifft hauptsächlich die öffentliche Abschlussveranstaltung am 25.02.2016 in Clausthal-Zellerfeld sowie die Abschlussberichte.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der verbleibenden Projektlaufzeit werden abschließende Berechnungen zu Room D und Room B durchgeführt und die Ergebnisse des Vorhabens für eine Vorstellung bei dem fachöffentlichen Abschlussworkshop aufbereitet. Außerdem wird der Abschlussbericht erstellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Gährken, A.; Missal, C.; Stahlmann, J. (2015): A thermal-mechanical constitutive model to describe deformation, damage and healing of rock salt. The Mechanical Behavior of Salt VIII, 26.-28.05.2015, Rapid City, SD, USA

Hampel, A.; Günther, R.-M.; Salzer, K.; Minkley, W.; Pudewills, A.; Yildirim, S.; Rokahr, R.; Gährken, A.; Missal, C.; Stahlmann, J.; Herchen, K.; Lux, K.-H. (2015): Joint Project III on the comparison of constitutive models for the thermomechanical behavior of rock salt I. Overview and results from model calculations of healing of rock salt. The Mechanical Behavior of Salt VIII, 26.-28.05.2015, Rapid City, SD, USA

Missal, C.; Gährken, A.; Stahlmann, J. (2015): Numerical investigations on the anisotropic damage of the EDZ of drifts in rock salt. The Mechanical Behavior of Salt VIII, 26.-28.05.2015, Rapid City, SD, USA

Missal, C.; Döring, I.; Stahlmann, J. (2014): Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Steinsalz aus der flachen und steilen Lagerung. geotechnik, 37. Jahrgang, Heft 3, S. 177-184, Ernst & Sohn, Berlin, 2014

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10941
Vorhabensbezeichnung: Erprobung und Weiterentwicklung moderner Methoden der Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis für ein künftiges Endlager - MOSEL		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3; Wirtsgestein: unabhängig		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2011 bis 31.10.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.297.575,00 EUR	Projektleiter: Dr. Becker	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Sensitivitätsanalyse stellt einen wesentlichen Bestandteil der Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit eines Endlagers dar. Die dafür bislang eingesetzten Verfahren liefern bei komplexen Endlagermodellen jedoch nur bedingt aussagekräftige Ergebnisse. Moderne Methoden, die genauere und verlässlichere Informationen liefern können, sollen im Hinblick auf Endlagermodelle vergleichend getestet und ggf. gezielt angepasst werden. Am Ende des Vorhabens soll eine Vorgehensempfehlung zur Durchführung globaler Sensitivitätsanalysen bei Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern in unterschiedlichen Wirtsgesteinen gegeben werden. Im Vorhaben kommen die parallel im Projekt ADEMOS entwickelten statistischen Programmkomponenten zum Einsatz. Bezüglich der Testfälle wird auf Modelle zurückgegriffen, die in den Projekten ISIBEL und GENE-SIS/ERATO entwickelt wurden bzw. werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Methoden der globalen Sensitivitätsanalyse:

Es ist ein ausführlicher Überblick über die Methoden der globalen Sensitivitätsanalyse sowie die Verfahren zur Stichprobenziehung zu erarbeiten. Die Methoden werden klassifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz im Rahmen von Sicherheitsnachweisen für Endlager bewertet. Laufende Aktivitäten und Entwicklungen im internationalen Bereich werden verfolgt und ausgewertet.

AP2: Definition von Testfällen:

Es sind mehrere Testmodelle und -szenarien zu definieren, anhand derer die verschiedenen Methoden getestet und verglichen werden können. Es sollen vorrangig Modelle für Salz- und Tonformationen betrachtet werden.

AP3: Durchführung und Auswertung von Testrechnungen:

Die im AP1 identifizierten Methoden der Sensitivitätsanalyse werden auf die Testfälle angewandt, soweit dies nach theoretischen Überlegungen sinnvoll erscheint.

AP4: Anpassung von Methoden und Bereitstellung für die Anwendung:

Aufgrund von Ergebnissen der Arbeitspakete 1 und 3 werden diejenigen Methoden identifiziert und ggf. weiterentwickelt, die für die Anwendung bei der Analyse der Langzeitsicherheit von Endlagern besonders geeignet erscheinen.

Die folgenden Arbeitspakete wurden zum 01.10.2014 neu definiert:

AP5: Verfolgung und Bewertung laufender Entwicklungen:

Um sinnvolle, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Sensitivitätsanalysen für Modelle für Endlagersysteme durchführen zu können, ist es notwendig, den sich ständig weiterentwickelnden Stand zu verfolgen und neue Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit für den Anwendungsfall zu bewerten und zu dokumentieren. Dies geschieht durch Literaturschau sowie Teilnahme an Fachkonferenzen.

AP6: Identifikation und Test von Methoden zur probabilistischen Sensitivitätsanalyse:

Methoden, die für die Analyse stark nichtlinearer Modelle mit über weite Bereiche gestreuten Ausgabe-Größen besonders geeignet erscheinen, werden identifiziert und anhand der bereits definierten oder weiterer Testfälle ausführlich untersucht.

AP7: Internationale Zusammenarbeit:

Im Rahmen des Projekts wird ein internationaler Austausch mit Organisationen in Europa und den USA gepflegt, die an ähnlichen Fragestellungen arbeiten.

AP8: Dokumentation:

Während der Projektlaufzeit sollen die Ergebnisse in Form von Veröffentlichungen und Konferenzbeiträgen dokumentiert werden. Zum Ende wird ein ausführlicher Gesamt-Abschlussbericht erstellt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1 – AP4:

Die Restarbeiten zu den ursprünglichen Arbeitspaketen konnten noch nicht vollständig abgeschlossen werden. Der Unterauftrag zur Entwicklung eines flexiblen Programmsystems zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse ist formal abgeschlossen, jedoch werden vom Auftragnehmer weiterhin Korrekturen am Programm vorgenommen. Die Ergebnisse des Parallelprojekts NUMSA der TU Clausthal liegen mittlerweile in einer übersichtsartigen Zusammenstellung vor.

AP5:

Über die allgemeine Beobachtung laufender Aktivitäten hinaus wurden zum AP5 im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt oder Konferenzen besucht.

AP6:

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Wissenschaftliches Rechnen der TU Braunschweig wurden Untersuchungen mit Metamodellen durchgeführt. Solche Modelle geben das Modellverhalten durch Approximation oder Interpolation von vorhandenen Ergebnissen des Originalmodells wieder. Ziel dieser Untersuchungen war, zu analysieren, inwieweit Metamodelle zu einer Steigerung der numerischen Effektivität von Sensitivitätsanalysen beitragen können. Die Ergebnisse liegen in Form eines Berichts der TU Braunschweig vor, wurden jedoch noch nicht abschließend ausgewertet.

In projektübergreifender Zusammenarbeit mit dem Vorhaben LAVA2 wurde eine Sensitivitätsanalyse mit einem Rechenmodell für reaktiven Stofftransport durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war, die Übertragbarkeit von bisher in MOSEL gewonnenen Erkenntnissen auf andere als die bisher betrachteten Modelltypen, die im Bereich der Endlagersicherheit jedoch relevant sind, zu testen und zu bewerten. Die Ergebnisse wurden in einem Poster auf der Goldschmidt-Konferenz in Prag (16.-21. August 2015) vorgestellt.

AP7:

In Zusammenarbeit mit RWM/NDA (UK) wurde im September 2015 ein internationaler Workshop zum Thema „Management of Uncertainties“ vorbereitet und in Harwell/UK durchgeführt. An dem Workshop nahmen Vertreter mehrere europäischer Organisationen sowie aus den USA teil. Die Sensitivitätsanalyse stellte einen von drei Themenbereichen dar; Ergebnisse von MOSEL wurden hier neben Untersuchungen aus anderen Ländern präsentiert und mit den Partnern diskutiert.

Im Rahmen des IGD-TP Exchange Forums in London wurden die Themen Ungewissheitsmanagement und Sensitivitätsanalyse mit Teilnehmern anderer europäischer Organisationen diskutiert.

AP8:

An der Dokumentation der bisher durchgeführten Arbeiten wurde weitergearbeitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im verbleibenden Projektzeitraum wird sich die Arbeit auf die Zusammenstellung, übergreifende Auswertung und Dokumentation der erzielten Ergebnisse konzentrieren. In diesem Zusammenhang soll auch eine detaillierte Vorgehensempfehlung für Sensitivitätsstudien an Endlagermodellen entwickelt werden.

Der Abschlussbericht ist fertigzustellen.

Um die Projektergebnisse der Fachöffentlichkeit vorzustellen und Perspektiven für ein weiteres Vorgehen zu erarbeiten, soll in der zweiten Jahreshälfte ein Fachworkshop durchgeführt werden. Damit wird unter anderem das Ziel verfolgt, die Sensitivitätsanalyse in ein umfassendes methodisches Konzept zur Handhabung von Unsicherheiten in einem Safety Case einzubetten. Dies ist als Teil der internationalen Zusammenarbeit im Rahmen des AP7 zu sehen.

Zum Projektende sollen die Arbeiten auf der internationalen Fachkonferenz SAMO 2016 präsentiert werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Sabine M. Spiessl: Attempt to Evaluate Sensitivity of Permeability-Porosity Changes within Hydrogeological Systems. Poster at Goldschmidt2015, Prague, August 16-21, 2015.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 10951
Vorhabensbezeichnung: Diffusion in kompaktiertem Salzgrus - DIKOSA	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1; Wirtsgestein: Salz	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2011 bis 31.05.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 804.550,00 EUR	Projektleiter: Dr. Flügge

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Projekt DIKOSA soll die Abhängigkeit des Porendiffusionskoeffizienten von der Porosität von Salzgrus experimentell mit Hilfe von sogenannten „through-diffusion“-Experimenten untersucht werden. Die Experimente werden zur Bestimmung der Gesetzmäßigkeit der Abhängigkeit bei unterschiedlicher Porosität des Salzgruses und mit unterschiedlichen Tracern durchgeführt. Die experimentell ermittelte Abhängigkeit soll in das Nahfeldmodul LOPOS für langzeitsicherheitsanalytische Rechnungen für Endlager im Salz implementiert und die Auswirkungen auf den Radionuklidtransport aus dem Endlager gezeigt werden. Dazu soll eine existierende sicherheitsanalytische Rechnung aus dem Projekt ISIBEL unter Berücksichtigung der verbesserten Beschreibung der Diffusion wiederholt werden.

Neben der direkten Bestimmung der Abhängigkeit des effektiven Porendiffusionskoeffizienten von der Porosität des Salzgruses lassen sich durch die durchgeführten Experimente auch Rückschlüsse auf die Struktur des Porenraumes im kompaktierten Salzgrus ziehen, wie z. B. auf dessen Porenraumvernetzung, d. h. auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von unverbundenen Poren. Diese Informationen liefern einen wichtigen Beitrag zur Klärung der Fragestellung, ob die Kompaktion von Salzgrus in den Zugangsstrecken des Endlagers das Transportpotenzial für Lösung und Schadstoffe im Salzgrus herabsetzt und eine potenzielle Freisetzung von Radionukliden verringert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Planung, Durchführung und Auswertung der Diffusionsexperimente
- AP2: Integration der Ergebnisse in das langzeitsicherheitsanalytische Modell LOPOS (Implementierung in LOPOS und illustrative Rechnungen)
- AP3: Projektleitung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Insgesamt vier Probenkörper befanden sich in dem Berichtszeitraum im Stadium des laufenden Diffusionsexperiments, so dass Tracerlösung mit fester Konzentration an der Quellenseite der Diffusionszelle anliegt und der Tracerausstrom an der Senkenseite untersucht wird. Bei

diesen Experimenten werden dreimal pro Woche Proben der Tracerlösung an der Senkenseite entnommen und analysiert. Ein weiterer Probekörper (Experiment#13) wurde bis zu einer Porosität von 1 % kompaktiert und befindet sich derzeit in der Aufsättigung. Die laufenden Diffusionsexperimente sind im Einzelnen:

Experiment #8: Das Diffusionsexperiment wurde Ende 2014 mit Cäsium als Tracer gestartet. Der Probekörper hat eine Porosität von 2 %. Es wurden bisher 146 Proben über einen Experimentzeitraum von etwa 340 Tagen genommen und analysiert. Der Tracerausstrom auf der Senkenseite hat zeitweise messbare Werte erreicht, lag allerdings über den vorwiegenden Teil der Zeit unterhalb der Nachweisgrenze. Dies lässt darauf schließen, dass sich der Porenraum im Laufe der Zeit verändert und nicht immer für die Diffusion im „Porenwasser“ durchgängig ist.

Experiment #10: Das Diffusionsexperiment wurde im Februar 2015 mit Cäsium als Tracer gestartet. Der Probekörper hat eine Porosität von 4 %. Es wurden bisher 116 Proben über einen Experimentzeitraum von 270 Tagen genommen und analysiert. Die Tracerkonzentration auf der Senkenseite hat über einen längeren Zeitraum messbare Werte erreicht. Es ist derzeit nicht sicher, ob der Ausstrom an der Senkenseite bereits einen stationären Zustand erreicht hat, daher wird das Experiment zur Beobachtung des Tracerausstroms weitergeführt. Sollte sich der Tracerausstrom bereits im stationären Zustand befinden, dann deutet der Tracerstrom darauf hin, dass die Diffusion durch den Porenraum deutlich verlangsamt wurde.

Experiment #11: Das Diffusionsexperiment wurde im Januar 2015 mit Cäsium als Tracer gestartet. Der Probekörper hat eine Porosität von 4 %. Es wurden bisher 127 Proben über einen Experimentzeitraum von 290 Tagen genommen und analysiert. Die Tracerkonzentration auf der Senkenseite hat über einen langen Zeitraum messbare Werte erreicht. Es ist derzeit nicht sicher, ob der Ausstrom an der Senkenseite bereits einen stationären Zustand erreicht hat, daher wird das Experiment zur Beobachtung des Tracerausstroms weitergeführt. Sollte sich der Tracerausstrom bereits im stationären Zustand befinden, dann deutet der Tracerstrom darauf hin, dass die Diffusion durch den Porenraum mit der gleichen Diffusionsgeschwindigkeit wie im freien Wasser stattfindet.

Experiment #12: Das Experiment wurde im November 2015 mit Cäsium als Tracer gestartet. Der Probekörper hat eine Porosität von 2 %. Die gewonnenen Proben der Senkenseite wurden bisher noch nicht auf ihre Tracerkonzentration analysiert. Das Experiment wird somit weiter fortgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fortsetzung der Versuche Gorleben-8 bis Gorleben-13; Analyse der gewonnen Proben, Auswertung der Ergebnisse

AP3: Erstellung des Abschlussberichts

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 10961
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 1: Karlsruher Institut für Technologie		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2011 bis 31.08.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.08.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 827.932,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Untersucht werden relevante geochemische Aspekte der Rückhaltung von Np, Pu, Am und Cm im Tongestein. Die Schwerpunkte werden auf Untersuchungen der Sorption, Diffusion, Komplexierung und Redoxprozesse von Actiniden bei höheren Ionenstärken und Temperaturen liegen. Als Tongestein werden der natürliche Opalinuston, der natürliche Callovo-Oxfordian-Ton und das reine Tonmineral Illit untersucht. Zusätzlich werden Aspekte des Einflusses von mobiler Tonorganik und Behälterkorrosionsprodukten auf die Sorption und Diffusion einbezogen. Neben den Diffusionsversuchen mit Actiniden werden Diffusionsversuche mit Tonorganik durchgeführt. Daran gekoppelt sind Untersuchungen zur Stabilität von kolloidaler Tonorganik bei höheren Ionenstärken. Die Komplexierung von Np(V) mit niedermolekularen organischen Komponenten (LWOC) wird ebenfalls bei höheren Ionenstärken und höheren Temperaturen bis 90 °C untersucht. Weiterhin wird die Relevanz von Fe-Mineralphasen aus der Behälterkorrosion für eine Rückhaltung in einigen Sorptionsuntersuchungen geklärt werden. Zusammenarbeiten laufen mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, der Universität Mainz, Potsdam, Heidelberg, Köln, Universität des Saarlandes sowie der TU München.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Sorptionsuntersuchungen: Cm(III)/Eu(III), Np(V), Pu(V) auf Opalinuston, Illite und Eisenphasen: Ionenstärkeabhängigkeit und Temperaturabhängigkeit, Einfluss von Tonorganik.
- AP2: Diffusionsuntersuchungen: Cm(III)/Eu(III) (eventuell Np(IV, V), Pu(IV, V)), ³H-markierter Fulvinsäure mit kompaktiertem Illit.
- AP3: Komplexierungsuntersuchungen: Np(V) mit LWOC (Propionat, Lactat, Kerogen und Huminstoffen) bei höheren Ionenstärken (NaCl) und höheren Temperaturen.
- AP4: Redox-Untersuchungen: Redoxverhalten von Neptunium und Plutonium in NaCl-Lösungen
- AP5: Stabilität von Huminstoffkolloiden bei hohen Ionenstärken.
- AP6: Löslichkeitsuntersuchungen: Einfluss von Borat auf An(III)/Ln(III)-Löslichkeiten.
- AP7: Themen, die für das Projekt „THEREDA“ Datenlücken schließen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Diffusionsversuch von Np(V) in kompaktiertem Na-Illit:

Es wurde ein zusätzlicher Diffusionsversuch von Np(V) in einem kompaktierten Na-Illit-Kern (Dichte 1600 kg m^{-3}) gestartet. Im Gegensatz zum ersten Experiment mit Edelstahlfilter, wurden diesmal PEEK-Filter verwendet. Mit diesem Aufbau soll die Sorption des Neptuniums an den Filterkomponenten minimiert werden. Die experimentellen Parameter entsprechen dem ersten Versuchs: Luftatmosphäre ($p_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5}$), Hintergrundelektrolyt 0.1 M NaCl . Die Messergebnisse des Versuchs zeigen, dass im tiefseitigen Reservoir bis zum Ende der Projektlaufzeit (Laufzeit des Experiments: 60 Tage) kein Neptunium detektiert werden konnte. Im Ausgangsreservoir (hochseitiges Reservoir) hat sich die Konzentration an Neptunium in diesem Zeitraum um einen Faktor 5 (Experiment „Stahlfilter“) bzw. 2 (Experiment „Peek-Filter“) vermindert. Damit sind die Randbedingungen für eine Auswertung mittels Regressionsanalyse der akkumulierten Aktivität auf Basis eines konstanten Konzentrationsgradienten nicht gegeben. Ein Diffusionskoeffizient konnte somit bisher nicht bestimmt werden.

Aus diesem Grund wurde entschieden, das Experiment über die Laufzeit des Projekts weiter zu verfolgen und im Falle eines Durchbruchs des Neptuniums in das tiefseitige Reservoir, die neuen Ergebnisse in den Abschlussbericht einfließen zu lassen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Anfertigung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Marsac, R.; Banik, N.; Lutzenkirchen, J.; Diascorn, A. ; Bender, K.; Marquardt, C.M.; Geckeis, H.: Sorption and Redox Speciation of Plutonium at the Illite Surface under Highly Saline Conditions, Environmental, Science & Technology, im Druck, 2016

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55122 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 10981
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 3: Universität Mainz		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2011 bis 31.08.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.08.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 613.600,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Reich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Wechselwirkung von Np und Pu mit natürlichem Tongestein wird bei höheren Salinitäten als Funktion des pH-Wertes in An- und Abwesenheit von gelöstem Fe(II) untersucht. Für die Sorption von Np(V) an Montmorillonit werden Sorptionsisothermen bei hohen Ionenstärken gemessen und mit Berechnungen verglichen, die auf einem für niedrige Ionenstärken entwickelten Sorptionsmodell beruhen. Der Einfluss der Temperatur auf die Sorption und Diffusion bei hohen Salinitäten wird schwerpunktmäßig für das System Np-Ton untersucht. Darüber hinaus werden das Sorptionsverhalten und die Speziation von Tc in Tongestein studiert. Die Speziation von Np, Pu und Tc erfolgt mittels XPS, EXAFS/XANES in festen Proben und mit der CE-ICP-MS bzw. CE-RIMS in Lösungen. Diese Untersuchungen sollen die thermodynamische Datenbasis zum Verhalten von Np, Pu und Tc in einem Tongestein bei höherer Salinität erweitern und damit wichtige Informationen für die Modellierung des Langzeitverhaltens dieser Radioelemente in einem möglichen Endlager mit Ton als Wirtsgestein liefern. Im Rahmen des Verbundprojekts wird schwerpunktmäßig mit dem Institut für Ressourcenökologie des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf, dem Institut für Nukleare Entsorgung des Karlsruher Instituts für Technologie, der Universität des Saarlandes und der TU München zusammengearbeitet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Batchexperimente zur Sorption von Np an Montmorillonit und von Np und Pu an natürlichem Tongestein bei höheren Salinitäten in Abhängigkeit des pH-Wertes
- Untersuchung des Einflusses von gelöstem Fe(II) auf das geochemische Verhalten von Np und Pu in natürlichem Tongestein
- Speziation von Np und Pu bei der Wechselwirkung mit natürlichem Tongestein unter hohen Salinitäten
- Diffusionsexperimente mit Np in natürlichem Tongestein bei höheren Salinitäten und Temperaturen von 25 und 60 °C
- Sorption und Speziation von Tc bei der Wechselwirkung mit natürlichem Tongestein.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Experimente zur Diffusion von Tc(VII) in Opalinuston (OPA) wurden abgeschlossen. Dies betrifft den Versuch, bei dem die Diffusion von $8 \mu\text{M } ^{99}\text{TcO}_4^-$ in OPA bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$ unter aeroben Bedingungen erfolgte. Als mobile Phase diente OPA-Porenwasser bei pH 7,6. Die Diffusionsrichtung war parallel zur Schichtung des Tongesteins. Zur Charakterisierung des OPA-Bohrkerns war zuvor die Diffusion von schwerem Wasser (HTO) gemessen worden ($D_e = 9,2 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $\varepsilon = 0,128$). Für die Diffusion von Tc wurden die folgenden Diffusionsparameter bestimmt: $D_e = 3,0 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ und $\alpha = 0,003$.

Auf der Basis der im Förderzeitraum erhaltenen Ergebnisse wurde ein Entwurf des Abschlussberichts erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit des Projektes endete am 31.08.2015. Weitere Experimente sind nicht geplant. Publikationen zu den erhaltenen Ergebnissen sind in Vorbereitung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

S. Amayri, D. R. Fröhlich, U. Kaplan, N. Trautmann, T. Reich, Distribution coefficients for the sorption of Th, U, Np, Pu, and Am on Opalinus Clay, *Radiochim. Acta* 104, 33-40 (2016).
 T. Reich, S. Amayri, J. Börner, J. Drebert, D. R. Fröhlich, D. Grolimund, U. Kaplan, Speciation of neptunium during sorption and diffusion in natural clay, Vortrag auf der 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (XAFS16), 23.-28.08.2015, Karlsruhe.
 S. Amayri, M. Lübke, J. Drebert und T. Reich, Migration von Technetium in Opalinuston, Poster auf der Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Nuklearchemie, GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2015, 30.08.-02.09.2015, Dresden.
 R. Scholze, S. Amayri, T. Reich, Einfluss der Salinität auf die Sorption von Plutonium an natürlichem Tongestein, Poster auf der Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Nuklearchemie, GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2015, 30.08.-02.09.2015, Dresden.
 Ch. Willberger, S. Amayri, V. Schneiders, R. Scholze, T. Reich, Redoxspeziation von Actiniden mittels Kapillarelektrophorese gekoppelt mit ICP-MS, Poster auf der Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Nuklearchemie, GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2015, 30.08.-02.09.2015, Dresden.
 P. Schönberg, D. Schönenbach, S. Zeisel, N. Trautmann, P. Thörle-Pospiech, J. Runke, T. Kron, K. Wendt, T. Reich, Ultraspurenanalyse von Technetium mittels Resonanzionisations-Massenspektrometrie (RIMS), Poster auf der Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Nuklearchemie, GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2015, 30.08.-02.09.2015, Dresden.

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Campus der Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken		Förderkennzeichen: 02 E 10991
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 4: Universität des Saarlandes		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2011 bis 30.09.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 30.09.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 715.882,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kickelbick	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung des geochemischen Verhaltens (Sorption bzw. Desorption, Migration sowie Komplexierung bzw. Kolloidbildung) von Uran (U(VI)) und Lanthaniden (Eu(III), Gd(III)) als deren Stellvertreter für dreiwertige Actiniden, vor allem unter dem Einfluss von Grundwasserbedingungen mit höheren Salinitäten (Na, Ca und Mg bis 5 mol/L) im natürlichen Tongestein. Hierbei wird auch der Einfluss von unterschiedlichen Komplexliganden auf die Sorption bzw. Desorption von U(VI) und Lanthaniden berücksichtigt. Zusätzlich wird ein Teil dieser Untersuchungen bei höheren Temperaturen und höheren Ionenstärken durchgeführt, um die noch vorhandenen Datenlücken zu verringern. Ein zweiter Projektschwerpunkt beschäftigt sich mit dem Komplexierungsverhalten von Uran und Lanthaniden (Eu, Gd) mit organischen und anorganischen Komplexliganden (Tonorganik unterschiedlicher Herkunft, Borat) in salinaren Systemen. Durch Anwendung neuer (NMR, Dialyse) bzw. Anpassung vorhandener Verfahren zur Metall-Speziation (Ultrafiltration, CE- bzw. LC-ICP-MS) an salinare Systeme sollen insbesondere Komplexbildungskonstanten bei höherer Ionenstärke bestimmt werden. Die im Vorgänger-Projekt entwickelten LC-Miniatur-Säulenversuche werden eingesetzt, um den Einfluss der Temperatur sowie anderer relevanter geochemischer Parameter auf die Mobilität der Metalle im kompakten Tongestein zu untersuchen.

Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und den Universitäten Dresden, Heidelberg, Mainz, München und Potsdam.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bestimmung der Einflüsse geochemischer Parameter auf die Sorption von Eu(III), Gd(III) und U(VI) in Opalinuston (OPA) mit Hilfe von Batch-Versuchen (binäres System)
- AP2: Bestimmung der Einflüsse geochemischer Parameter auf die Desorption von Lanthanoiden und Radionukliden (Eu, Gd und U) in natürlichen Tonformationen mit Hilfe von Batch-Versuchen
- AP3: Bestimmung der Einflüsse von Tonorganik und anorganischer Komplexliganden auf die Sorption von Eu, Gd und U an Tongestein bei Grundwasserbedingungen mit hohen Salinitäten (NaCl)
- AP4: Untersuchungen zum Komplexierungsverhalten von Eu, Gd und U mit organischen und anorganischen Komplexliganden im Übergang von wässrigen Lösungen auf salinare Systeme durch geeignete Speziation-Methoden; Anpassung der vorhandenen Tools zur Metall-Speziation in salinaren Systemen
- AP5: Einfluss von unterschiedlicher Salinität sowie anorganischer Komplexliganden auf die Speziation der untersuchten Metalle mit Fulvin- bzw. Huminsäure mit Hilfe der entwickelten Nachweis- und Speziations-Methoden und Vergleich mit der Speziation von Modellorganika
- AP6: Einfluss zweiwertiger Ionen (Ca bzw. Mg) auf das Sorptionsverhalten von Eu und U(VI) an Opalinuston in Gegenwart/Abwesenheit organischer Komplexliganden (z. B. Elliot Soil-HA; Aldrich-HA; Suwannee River-NOM, HA aus den Gorleben Bohrlöchern 570 und 850)
- AP7: Untersuchung des Einflusses der Salinität höherwertiger Ionen (Ca bzw. Mg) und des pH-Wertes auf das Komplexierungsverhalten von Eu und U(VI) mit natürlichen organischen Komplexliganden unterschiedlicher Bindungsstärke (siehe AP6)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum konnten die noch fehlenden Sorptionsuntersuchungen von Uran (VI) an Opalinuston (OPA) im ternären System mit Aldrich Huminsäure (AHA) bei pH 5 abgeschlossen werden. Der Einfluss der Huminsäure auf die Uranyl-Mobilität ist bei diesem pH Wert relativ niedrig, da die AHA zu großen Teilen durch den Protonen- bzw. Kationenüberschuss neutralisiert und ausgefällt wird. Bei niedriger Ionenstärke (0,01 M NaCl) wird die Uran Rückhaltung im ternären System hauptsächlich durch Sorption am Ton geprägt ($K_{d(\text{binär}, 0,01\text{M NaCl})} = 3,60 \pm 0,10 \text{ L kg}^{-1}$), wobei die Komplexierung mit AHA keine, bzw. nur eine untergeordnete Rolle spielt ($K_{d(\text{ternär}, 0,01\text{M NaCl})} = 3,63 \pm 0,06 \text{ L kg}^{-1}$). Bei höheren Ionenstärken (1 M NaCl) stellen die Natrium Kationen für Uran eine Konkurrenz um die Sorptionsplätze am Ton dar ($K_{d(\text{binär}, 1\text{M NaCl})} = 3,33 \pm 0,12 \text{ L kg}^{-1}$).

Im ternären System bei höheren Ionenstärken (1 M NaCl) kann die Huminsäure die Rückhaltung des Urans jedoch indirekt positiv beeinflussen. Durch die hohe Natrium-Konkurrenz auf den Sorptionsplätzen am OPA ist zunächst mehr Uran in Lösung, das von der Huminsäure komplexiert wird. In Lösung wird jedoch durch die hohe Konzentration an Natrium Kationen der Uran-AHA-Komplex neutralisiert und fällt aus. Die Rückhaltung des Urans in 1 M NaCl Lösung wird somit in Gegenwart von Huminsäure bis zu einem Level ($K_{d(\text{ternär}, 1\text{M NaCl})} = 3,57 \pm 0,06 \text{ L kg}^{-1}$) erhöht, das dem K_d -Wert bei niedriger Ionenstärke entspricht.

Eine erhöhte Calcium Konzentration zeigt weder bei niedrigen (0,01 M) noch bei höheren (1 M) Ionenstärken einen relevanten Einfluss auf die Rückhaltung. Vermutlich erfolgt eine Mitfällung des Calciums durch die Huminsäure, so dass es für Konkurrenzreaktionen mit dem Uran um Sorptionsplätze an OPA nicht mehr zur Verfügung steht.

Zudem wurden Experimente zur Remobilisierung von Europium vom OPA in Gegenwart von Calcium (5 mmol L⁻¹) und Aluminium (0,7 mmol L⁻¹) in 0,01 und 1 M NaCl durchgeführt. Dabei konnte bei pH 5 bei allen untersuchten Ionenstärken ein starker Einfluss auf die Remobilisierung von Europium durch Calcium und durch Aluminium nachgewiesen werden. Wie zu erwarten konnte das Aluminium auf Grund seiner Dreiwertigkeit einen höheren Mobilisierungseffekt als Calcium erzielen, obwohl es in deutlich niedriger Konzentration vorlag. Bei pH 7 waren die Einflüsse von Calcium und Aluminium nahezu vernachlässigbar.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der Verlängerung werden die experimentellen Untersuchungen abgeschlossen und mit der Erstellung des Abschlussberichtes begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München	Förderkennzeichen: 02 E 11001
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 5: Technische Universität München	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2011 bis 31.08.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.08.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 716.518,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krüger

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Sorption von Actinidenspezies an Tonmineraloberflächen.
- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden mit Tonorganika und in salinaren Lösungen

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

- AP1: Adsorption von Actiniden an Tonmineralien
AP2: Komplexierung von Actiniden in Lösung.

Arbeitspaket 1 (AP) umfasst quantenmechanische Berechnungen periodischer Modelle von Tonmineralien sowie die Untersuchungen der Adsorption von Actinidenspezies auf Tonmineraloberflächen.

In AP2 werden computerchemische Untersuchungen zu Komplexen von Actiniden in wässriger Lösung durchgeführt. Schwerpunkte sind die Modellierung der Komplexierung durch Tonorganika sowie insbesondere organische Americiumkomplexe.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1.3: Eisensubstituierte Tonminerale; AP2.1: Komplexe einfacher Carboxylate;
AP2.2: Wechselwirkung mit Tonorganika; AP2.3 Boratester.

Um den Einfluss von Eisen auf die Adsorption von U(VI) an Smektiten zu untersuchen (AP1.3) wurde Fe³⁺ als häufige oktaedrische Substitution in Montmorillonit an der Kantenfläche (110) mittels PCM-Solvatisierung modelliert. Diese Oberfläche zeigt mit Eisensubstitution die gleiche Struktur wie für idealen Montmorillonit. Dementsprechend wurden auch die gleichen adsorbierten Spezies auf durch Eisen substituierten Plätzen gefunden. Wie für die

ideale Oberfläche erwies sich Uranyl(VI) bidentat gebunden auf einem analogen FeOH-SiO-Platz als bevorzugte Spezies. Obwohl Fe^{3+} um etwa 10 pm größer als Al^{3+} ist, sind Unterschiede in der Geometrie der Adsorptionskomplexe auf äquivalenten Plätzen für gewöhnlich gemessene Parameter deutlich kleiner und damit im Experiment wohl kaum auffindbar.

Modellierungen zu Aktinidenkomplexen einfacher Carbonsäuren (AP2.1) wurden um Am(III)-Diformiat ergänzt und abgeschlossen. Untersucht wurden Komplexe mit Koordinationszahlen 8 und 9 und verschiedener Ligandenkoordination. Im Gegensatz zu Am(III)-Monoformiat zeigen Diformiatkomplexe eine schwache Tendenz zu bidentater Ligandenkoordination. Wie für Acetat wird die Stabilität von Am(III)-Diformiat geringfügig niedriger als für U(VI) und höher als für Np(V) berechnet. Im Vergleich zu Am(III)-Diacetat fällt die Komplexierungsenergie etwas geringer aus, was ebenso für U(VI) und Np(V) gefunden wurde. Wie bei anderen einfachen Carboxylaten sind mono- und bidentat koordinierte Liganden experimentell am sichersten über den Abstand Am-C zur Carboxylgruppe zu unterscheiden. Am-O-Abstände zu Aqualiganden und Formiat sind sehr ähnlich und variieren kaum mit der Koordinationszahl. Diese Ergebnisse werden zurzeit mit entsprechenden kürzlich durchgeführten EXAFS-Messungen des Projektpartners Universität Heidelberg verglichen.

Untersuchungen zur Komplexierung von Tonorganika (AP2.2) wurden für Lactat fortgeführt. Während für U(VI)-Monolactat verschiedene Koordinationsmoden energetisch entartet sind, ist in Np(V)-Monolactat die bidentate Koordination um etwa 10 kJ/mol bevorzugt. Wie für U(VI)-Monolactat ist eine Deprotonierung der OH-Gruppe des Lactats in saurem Milieu stark endotherm. Dies widerspricht der Interpretation von IR- und NMR-Experimenten des Projektpartners TU Dresden an Eu(III)-Monolactat, ist aber im Einklang mit anderen Experimenten. Der Vergleich verschiedener Ligandenkoordinationen in U(VI)-Dilactat ergab, dass Komplexe mit einem monodentat gebundenen Liganden leicht bevorzugt sind. Im Vergleich zu Acetat berechnen wir geringere Komplexierungsenergien für Lactat, was nicht mit allen in der Literatur verfügbaren Komplexierungskonstanten übereinstimmt.

Boratesterkomplexe (AP2.3) wurden auf Anregung des Projektpartners TU Dresden untersucht, der diese als Modellverbindungen für bisher nicht bekannte Aktiniden-Monoborate vorgeschlagen hat. Erste Ergebnisse zu Am(III)-Boratestern wurden durch weitere, besser auskonvergierte Rechnungen bestätigt. Lactatoborat und Salicylatoborat binden bevorzugt monodentat an Am(III), während Ergebnisse des Projektpartners zu Eu(III)-Komplexen mono- und bidentate Komplexe im Gleichgewicht nahelegen. Lactatoborat- und Salicylatoboratkomplexe erwiesen sich als etwas weniger stabil als Monoboratkomplexe und sind damit thermodynamisch nur bedingt als Modelle für Monoboratkomplexe anzusehen. Dieses Ergebnis wird auch durch eine frühere Charakterisierung der Liganden selbst gestützt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist beendet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Kremleva, S. Krüger, N. Rösch, Toward a Reliable Energetics of Adsorption at Solvated Mineral Surfaces: A Computational Study of Uranyl(VI) on 2:1 Clay Minerals. *J. Phys. Chem. C* 120 (2016) 324.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11021
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 7: Technische Universität Dresden		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2011 bis 31.08.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.08.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 377.336,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Stumpf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel der Arbeiten ist die Ableitung thermodynamischer Daten zur Wechselwirkung von Am(III) mit endlagerrelevanten Liganden in (hoch)salinaren Medien. Das Hauptaugenmerk liegt auf Untersuchungen zur Komplexbildung von Am(III) mit Borat und kleinen organischen Liganden, die als Modell für natürliche organische Materie (mobile Tonorganika, Huminstoffe) fungieren.

Die ermittelten thermodynamischen Daten (Komplexbildungskonstanten, Enthalpien und Entropien, Wechselwirkungskoeffizienten) sollen zu einer wirklichkeitsgetreuen Modellierung der Wechselwirkung von Am(III) in realen salinaren Medien beitragen und vorhandene Lücken in den thermodynamischen Datenbasen schließen. Erstmals sollen Am(III)-Boratspezies in Lösung direkt spektroskopisch und thermodynamisch charakterisiert werden.

Das Forschungsvorhaben erfolgt in enger Kooperation mit den Verbundprojekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam und Heidelberg sowie dem Institut für Ressourcenökologie vom Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgung vom Karlsruhe Institut für Technologie.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Einsatz der Mikrotitrationskalorimetrie (ITC):

Direkte Bestimmung der thermodynamischen Daten (Enthalpie, Entropie) zur Wechselwirkung von Eu(III)/Am(III) mit Borat und organischen Modellliganden mittels Mikro-Titrationskalorimetrie in Abhängigkeit verschiedener Untersuchungsparameter (pH, I, T und Medium)

AP1: Untersuchung im System Am(III)-Borat-salinare Lösung

Spektroskopische Charakterisierung von Am(III)-Boratspezies in Lösung u. a. mittels TRLFS, UV-Vis, FT-IR und Ramanspektroskopie sowie Bestimmung der thermodynamischen Daten zur Komplexbildung von Am(III) mit Borat unter Standardbedingungen ($T = 25\text{ °C}$, $I < 0.1\text{ M NaClO}_4$) und in salinaren Medien unter Variation von Ionenstärke (bis 3 M), Salzmedium (NaCl, MgCl₂) und Temperatur (bis 80 °C) bei $\text{pH} > 7$

AP2: Untersuchungen im System Am(III)-NOM-salinare Lösung

Bestimmung der thermodynamischen Daten zur Komplexbildung von Am(III) mit sauerstoffhaltigen Modellliganden (u. a. von Salicyl-, Propion-, Wein-, Pyromellitsäure) unter Variation von pH (2-9), Ionenstärke (bis 3 M), Salzmedium (NaCl, MgCl₂) und Temperatur (bis 80 °C).

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

- Abschluss der Arbeiten zur Eu(III)-Polyborat Komplexierung in Abhängigkeit der Ionenstärke und Elektrolytmedien sowie Bestimmung der entsprechenden thermodynamischen Komplexbildungskonstanten: Ionenstärkeabhängige Untersuchungen in NaCl und NaClO₄ Medium und deren Auswertung mittels SIT (specific ion interaction Theorie) ergaben die folgenden Komplexbildungskonstanten und spezifischen Wechselwirkungskoeffizienten des 1:1 Eu(III)-Polyboratkomplexes:
 $\log \beta_{(NaClO_4)}^0 = 3.17 \pm 0.2$ mit $\varepsilon(\text{EuB(OR)}_4^{2+}, \text{ClO}_4^-) = 0.3 \pm 0.05 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ und $\log \beta_{(NaCl)}^0 = 3.12 \pm 0.21$ mit $\varepsilon(\text{EuB(OR)}_4^{2+}, \text{Cl}^-) = 0.025 \pm 0.04 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Bestimmung der Cm(III)-(Poly)borat Komplexierung mittels TRLFS, bei I = 0.1 m (NaCl): Es wurde eine Komplexbildungskonstante von $\log \beta_{(NaCl)}^0 = 3.0$ (Einzelwert) bestimmt.
- Bestimmung der Am(III)-(Poly)borat Komplexierung in Abhängigkeit der Ionenstärke (NaCl) mittels Uv-vis-Absorptionsspektroskopie: Es wurde eine Komplexbildungskonstante von $\log \beta_{(NaCl)}^0 = 2.68 \pm 0.2$ bestimmt (aus dem SIT-Plot: Differenz der Wechselwirkungskoeffizienten $\Delta\varepsilon_1 = -0.31 \pm 0.04 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$).

AP2:

- Fortführung der Untersuchungen zur Bestimmung von Fällungsenthalpien von Feststoffen mithilfe der ITC am Beispiel von Silberiodid (Standardsystem) und Nd₂Ox₃.
- Erstellung des Abschlussberichtes
 "Spectroscopic and thermodynamic studies on the interaction of An(III) and Ln(III) with complexing ligands in saline media", Fertigstellung Januar 2016

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Schott: Investigation of the Interactions in the Eu(III)-borate System. PhD thesis, Technische Universität Dresden, eingereicht am 19.12.2015

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11061A
Vorhabensbezeichnung: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 842.910,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das verfügbare Instrumentarium für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für hochaktive Abfälle im Tonstein in Deutschland wird überprüft und bewertet. Die Anforderungen an die einzusetzenden Instrumentarien und benötigten Daten werden katalogisiert. Der Katalog behandelt konzeptuelle Modelle, Szenarienanalyse, Bewertung der Wirksamkeit geologischer und technischer Barrieren (Integrität) sowie Bewertung möglicher Freisetzungen. Es wird geprüft, inwieweit adäquate Instrumentarien und Daten vorliegen und wie deren Anwendbarkeit auf der Grundlage vorliegender FuE-Ergebnisse zu bewerten ist. Schwerpunkte und Zielstellungen für ergänzende FuE-Arbeiten werden in Form einer Defizitanalyse formuliert.

Die gemeinsame Bearbeitung durch BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY soll eine ausgewogene und vollständige Betrachtung aller Instrumentarien gewährleisten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Geologie der relevanten Tonsteininformationen und zugehöriges Endlagerkonzept
- AP2: Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tonstein in Deutschland
- AP3: FEP-Selektion und Szenarientwicklung
- AP4: Möglichkeit des Nachweises der Sicherheit in der Betriebs- und kontrollierten Nachbetriebsphase
- AP5: Nachweiskonzept und Konsequenzenanalyse für die Langzeitsicherheit von Standorten im Tonstein
- AP6: Berichtswesen
- AP7: Prozessanalysen zur Gasentwicklung und Gasbewegung

GRS ist federführend für das Arbeitspaket 5. Dieses gliedert sich in die Unteraufgaben:

- AP5.1: Erstellung des Nachweiskonzeptes
- AP5.2: Bewertung der Datenlage
- AP5.3: Bewertung des Instrumentariums

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden im Berichtszeitraum 10 ganztägige Arbeitsgespräche mit den drei am Projekt beteiligten Organisationen durchgeführt. Die diskutierten Inhalte betrafen vor allem die Erarbeitung des FEP-Katalogs für das Endlagerstandortmodell Süd. Die Arbeiten in den Arbeitspaketen waren:

AP3: Erstellung des FEP-Katalogs für das Endlagerstandortmodell Süd. Der FEP-Katalog Süd ist damit abgeschlossen und enthält die Beschreibung von 68 FEP, ihren Eigenschaften und begründeten Wechselwirkungen. 24 FEP beschreiben Zustände und 44 FEP Prozesse.

Die Überprüfung der Konsistenz der festgelegten Verknüpfungen zwischen den Prozessen und Zuständen war mit der vorliegenden FEP-Datenbank nicht möglich. Aus diesem Grund wurde von der GRS ein Tool entwickelt, das diese Konsistenzprüfung anhand des Datenbankauszugs durchführen kann und die Verknüpfungen auch in Tabellenform darstellen kann.

Die Szenarienanalyse wurde begonnen. Dabei wurden bisher verschiedene Ansätze getestet, die Szenarienentwicklung gegenüber dem bisher durchgeführten Verfahren weiterzuentwickeln und zum Teil auch wieder verworfen. Es wurde ein Tool entwickelt, mit Hilfe dessen automatisch aus den im FEP-Katalog bestehenden Verknüpfungen Abhängigkeitsbäume der FEP erstellt werden können.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Dokumentation des FEP-Katalogs für das Endlagerstandortmodell Süd.

Durchführung der beispielhaften Szenarienentwicklung für das Endlagerstandortmodell Süd. Erstellung des Berichts zur Szenarienanalyse zum Endlagerstandortmodell Süd.

AP6: Erstellung eines gemeinsamen Berichts zu den durchgeführten Modellierungsarbeiten im Rahmen der Integritäts- und Konsequenzenanalyse für die Endlagerstandortmodelle. Erstellung eines gemeinsamen Berichts zu den durchgeführten Modellierungsarbeiten im Rahmen der spezifischen Prozessanalysen.

Erstellung eines gemeinsamen Syntheseberichts zum Projekt Ansicht.

AP7: Diskussion und Vergleich der von den anderen Projektpartnern und der GRS erarbeiteten Ergebnisse.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11061B
Vorhabensbezeichnung: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 774.035,00 EUR	Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel dieses Vorhabens ist es, zu prüfen, ob und wie ein Sicherheitsnachweis für ein HAW-Endlager in Tonstein in Deutschland geführt werden kann. Dabei wird zunächst der konzeptionelle Ansatz für einen Sicherheitsnachweis in prinzipieller Anlehnung an das Sicherheits- und Nachweiskonzept für einen Standort im Salz entwickelt, wobei die Methodik zum Nachweis der Integrität der geotechnischen und geologischen Barrieren im Vordergrund steht. Voraussetzung für einen Sicherheitsnachweis ist ein umfassender FEP-Katalog, der auf der Beschreibung der geologischen Gesamtsituation, der geowissenschaftlichen Langzeitprognose, dem Abfallmengengerüst und dem Endlagerkonzept sowie einer Abschätzung aller zukünftig im Endlagersystem zu erwartenden Prozesse basiert, und in dem alle zukünftig relevanten Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse beschrieben sind. Es ist daher ein Teilziel, aufbauend auf dem VSG-FEP-Katalog, die FEP zu selektieren bzw. zu ergänzen, die für eine Endlagerung in deutschen Tonsteinformationen relevant sind. Diese sollen für die zwei Referenzregionen in einem FEP-Katalog NORD und einem FEP-Katalog SÜD dokumentiert werden, die dann die Grundlage für die Szenarientwicklung bilden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Geologie der relevanten Tonsteinformationen und zugehöriges Endlagerkonzept
- AP2: Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tonstein in Deutschland
- AP3: FEP-Selektion und Szenarientwicklung
- AP4: Möglichkeit des Nachweises der Sicherheit in der Betriebs- und kontrollierten Nachbetriebsphase
- AP5: Nachweiskonzept und Konsequenzenanalyse für die Langzeitsicherheit von Standorten im Tonstein
- AP6: Berichtswesen

Die DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend für AP2, AP4 und AP6 und bearbeitet im AP1 den Unterpunkt 1.2.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde der FEP-Katalog bzw. das FEP-System für das Endlagerstandortmodell SÜD einem projektinternen Review unterzogen und erneut überarbeitet.

Das entwickelte FEP-System stellt eine signifikante Weiterentwicklung des FEP-Kataloges für das Endlagerstandortmodell NORD dar. Ein wesentliches Merkmal dieses FEP-Kataloges ist die strikte Trennung zwischen FEP, die Endlagerkomponenten beschreiben wie Ausbauten, geotechnische Barrieren, Wirtsgestein etc. und FEP, die ablaufende THMCB-Prozesse im und um das Endlager beschreiben. Auf diese Weise kann immer eindeutig ein Prozess mit seiner Wirkung auf einzelnen Komponenten identifiziert werden. Auf der anderen Seite wurde den Komponenten-FEP eine Reihe von Eigenschaften zugeordnet, die, wenn diese sich im Laufe der Entwicklung ändern, auch wiederum die Prozess-FEP in ihrer Ausprägung verändern können.

Im Berichtszeitraum wurden sämtliche so erstellten FEP in eine elektronische Datenbank überführt. Mit Hilfe eines programmierten Datenbanktools wurde abschließend eine Konsistenzprüfung erfolgreich durchgeführt. Detektierte Inkonsistenzen wurden geprüft und bereinigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Dokumentation des FEP-Kataloges für das Endlagerstandortmodell SÜD.
- Szenarienentwicklung für das Endlagerstandortmodell SÜD.
- Beginn der abschließenden Dokumentation sowohl zur Systemanalyse als auch zum Synthesebericht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Folgende Projektberichte wurden, zum Teil in aktualisierter und überarbeiteter Form, fertiggestellt:

- FEP-Katalog für das Endlagerstandortmodell NORD - Konzept und Aufbau
- Szenarienentwicklung für das Endlagerstandortmodell NORD - Methodik und Anwendung
- Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Endlagerstandortmodell NORD
- Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Endlagerstandortmodell SÜD

Nach Durchlauf des hausinternen Qualitätsmanagementsystems werden die Berichte öffentlich zugänglich gemacht.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 11061C
Vorhabensbezeichnung: Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 568.514,00 EUR	Projektleiter: Mrugalla	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Auf Grundlage des derzeitigen Standes von Wissenschaft und Technik zur HAW-Endlagerung sowie unter Berücksichtigung international bewährter Konzepte für Sicherheitsnachweise in verschiedenen geologischen Formationen wird eine Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tongestein erarbeitet und dessen Anwendbarkeit an jeweils einem generischen Modellstandort für NORD- und Süddeutschland getestet. Eine Differenzen-Betrachtung der beiden Modelle zueinander und zu einem Standort im Wirtsgestein Salz (VSG) wird vorgenommen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Geologie der relevanten Tongesteinsformationen und zugehöriges Endlagerkonzept
 - AP2: Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tongestein (Deutschland)
 - AP3: FEP-Selektion und Szenarienentwicklung
 - AP4: Möglichkeit des Nachweises der Sicherheit in der Betriebs- und kontrollierten Nachbetriebsphase
 - AP5: Nachweiskonzept und Konsequenzenanalyse für die Langzeitsicherheit von Standorten im Tongestein
 - AP6: Berichtswesen
- Die BGR ist federführend für die Arbeitspakete 1 und 3.

Unteraufgaben:

- AP1.1: Kriterien zur Auswahl von Referenzregionen und generischer Endlagerstandorte
- AP1.2: Zusammenstellung der Gesteinseigenschaften; Integritätsuntersuchungen „NORD“ und „SÜD“
- AP1.3: Beschreibung der geologischen Endlagerstandortmodelle „NORD“ und „SÜD“
- AP3.1: Prognose der weiteren geologischen Entwicklung für die Endlagerstandortmodelle „NORD“ und „SÜD“.
- AP3.2: Beschreibung der geologischen FEPs „NORD“ und „SÜD“
- AP3.3: Erarbeitung und Beschreibung der Szenarien „NORD“ und „SÜD“

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1.2: Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten fortgesetzt und die Zusammenstellung der Gesteinseigenschaften „SÜD“ wurde abgeschlossen.
- AP1.3: Der Bericht (Modell SÜD) wurde als interne Arbeitsgrundlage für die FEP genutzt. Die Veröffentlichung erfolgt nach dem Abgleich und der Übernahme der Informationen in den FEP-Katalog gemeinsam mit dem Bericht zur Zusammenstellung der Gesteinsparameter.
- AP3.2: Die Beschreibung der geologischen FEP für das Modell SÜD wurde abgeschlossen.
- AP3.3: Die Methode zur Ableitung der Ausprägungen von FEP als erstem Schritt der Szenarienentwicklung wurde weiterentwickelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung der Berichte zur Unteraufgabe 1.2 und 1.3 (SÜD).
- Erstellung des Berichts zum FEP Katalog SÜD (3.2).
- Test der weiterentwickelten Methode zur Ausprägung von FEP und zur Szenarienentwicklung „SÜD“. Beschreibung des Referenzszenariums SÜD.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11062A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d ³ f und r ³ t (H-DUR)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3, Wirtsgestein: unabhängig		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012 bis 31.10.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.10.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.179.070,00 EUR	Projektleiter: Schneider	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit den Programmpaketen d³f und r³t stehen Werkzeuge zur Modellierung der Grundwasserströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien (Projekte GRUPRO bzw. TRAPRO) mit expliziter Berücksichtigung von Klüften und Kluftsystemen zur Verfügung (E-DuR). Mehrskalensansätze ermöglichen ihre Anwendung auf dichte geklüftet-poröse Gesteine großer geologischer Formationen (A-DuR).

Ziele dieses Projektes sind eine deutliche Beschleunigung und eine wesentlich verbesserte Handhabung der Rechenprogramme d³f und r³t, ein verbesserter Umgang mit Modell- und Parameterungewissheiten sowie die Integration der Codes zu einem einheitlichen Werkzeug. Die Prä- und Postprozessoren werden den erweiterten Anforderungen angepasst. Damit wird die Einsetzbarkeit von d³f und r³t für Langzeitsicherheitsanalysen erheblich verbessert.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Universität Jena (Prof. Attinger) und der Universität Frankfurt (Prof. Wittum) durchgeführt. Das Steinbeis-Forschungszentrum „Technische Simulation“ (Dr. Heisig) ist über einen Unterauftrag eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

- AP1: Leitung des Vorhabens
- AP7: Entwicklung eines umfassenden graphischen Benutzerinterfaces
- AP8: Simulation ausgewählter Systeme
- AP9: Testrechnungen zur Verifizierung der Neuentwicklungen
- AP10: Erstellung des gemeinsamen Abschlussberichtes und Erweiterung der Anwenderhandbücher

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die wesentlichen Teile von d³f und r³t sind auf die Basis von UG4 übertragen und in den gemeinsamen Code d³f++ überführt. Weitere Versionen von d³f++ wurden bei der GRS installiert und intensiv getestet. Dabei wurden sowohl die LUA-Skriptsprache als auch das graphische Benutzerinterface benutzt. Mit Hilfe der LUA-Skripts sind alle Features von d³f++ steuerbar. Die Implementierung des graphischen Benutzerinterfaces wurde auf Basis der Tests weiterentwickelt.

Die Implementierung der Grundwasserneubildung und des Zu- und Abstromes durch Systeme von Vorflutern wurde fertiggestellt und getestet. Weitere Bilanzierungsmethoden wurden implementiert.

Testrechnungen zur Überprüfung der Implementierung der thermohalinen Strömung im Kluffgestein wurden mit d³f++ durchgeführt. Dazu wurde der Majak-Testfall herangezogen.

Der Projektabschlussbericht ist weitgehend fertiggestellt.

Die Ergebnisse der Modellierungsarbeiten mit d³f++ wurden auf dem Projektabschlussworkshop „Modeling Storage in Deep Layers“ im Rahmen der Konferenz „Modeling Natural Barriers“ am 28.9.2015 in Bad Wildbad vorgestellt. Die GRS war hier mit drei Vorträgen und einem Poster vertreten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Veröffentlichung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		Förderkennzeichen: 02 E 11062B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Modellierung von Datenungleichheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3, Wirtsgestein: unabhängig		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2012 bis 31.08.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.08.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 185.266,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Attinger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundvorhabens ist die grundlegende Erweiterung der numerischen Modelle d^3f und r^3t zur Einsetzbarkeit in Langzeitsicherheitsanalysen. Bisher simulierten d^3f und r^3t die Strömungs- und Transportmodellierung von Sedimentgesteinen in heterogenen porösen und geklüftet-porösen Medien.

Strömungs- und Transportmodelle im geologischen Untergrund und deren Vorhersagezuverlässigkeit sind mit Parameterungewissheiten behaftet, da meist zu wenig Informationen oder Messdaten, insbesondere der räumlichen Verteilung von hydraulischen Leitfähigkeiten oder der Porositäten, vorliegen. Vorhersagen sollten daher den Einfluss dieser Ungewissheiten berücksichtigen und die zu entwickelnden Modelle sollten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Schadstoffkonzentrationen im Untergrund liefern.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Universität Frankfurt (Prof. Wittum), dem Steinbeis-Forschungszentrum „Technische Simulation“ (Dr. Heisig) und der Gesellschaft für Reaktorsicherheit in Braunschweig (GRS, Frau Schneider) durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens wird folgendes Arbeitspaket von der Arbeitsgruppe Attinger (Universität Jena) bearbeitet:

AP4: Berücksichtigung von Ungewissheiten:

- Generierung räumlich verteilter Zufallsfelder mit bestimmten geologischen Eigenschaften (hydraulische Leitfähigkeiten, Porositäten)
- Simulation von Strömungs- und Schadstofftransportsituationen mittels Monte-Carlo-Simulationen
- Berechnung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Schadstoffverteilungen mittels der Methode der „filtered probability density functions“
- Lösung der hochdimensionalen Transportgleichung & Vergleich mit Monte-Carlo-Simulationsergebnissen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde die Methode der räumlich gefilterten Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen entwickelt, implementiert und untersucht. Es hat sich herausgestellt, dass diese Methode andere Anwendungen findet als in der Turbulenztheorie. Statt möglichst viele Skalen direkt zu modellieren, kann sie in der Grundwassermodellierung benutzt werden, um die Berechnung von tausenden von Ensemblemitgliedern auf die Berechnung von wenigen Ensemblemitgliedern zu reduzieren. Eine Veröffentlichung hierüber steht kurz vor der Einreichung.

Das neue Mischungsmodell, welches auf die speziellen Bedingungen des Transports im Grundwasser zugeschnitten wurde, ist analysiert und mit bereits bekannten Modellen aus der Turbulenztheorie verglichen worden. Dieses neue Modell bildet das im Vergleich zu turbulenten Strömungen viel langsamere Mischungsverhalten in porösen Medien ab und stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem alten Modell dar, wenn man diese mit analytischen Lösungen vergleicht. An einer Veröffentlichung über diese Ergebnisse wird zurzeit noch gearbeitet.

PDF-Methoden wurden erfolgreich in dem Programmpaket r^3t implementiert, um hochdimensionale Transportsimulationen von Schadstoffen in porösen Medien im Eulerbild durchführen zu können.

Damit ist das Arbeitspaket AP4 erfolgreich abgeschlossen und es stehen lediglich die geplanten Veröffentlichungen aus.

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Suciu, N., F. A. Radu, S. Attinger, L. Schüler, P. Knabner (2015): A Fokker-Planck approach for probability distributions of species concentrations transported in heterogeneous media, *Journal of Computational and Applied Mathematics*

Suciu, N., L. Schüler, S. Attinger, C. Vamos, P. Knabner (2015): Consistency Issues in PDF methods, *Analele Stiintifice ale Universitatii Ovidius Constanta* (in print)

Suciu, N., L. Schüler, S. Attinger, P. Knabner: Toward a filtered density function approach for groundwater, *Advances in Water Resources* (Einreichung für Juli geplant)

Schüler, L., N. Suciu, S. Attinger: A time dependant mixing model for concentration fluctuations in heterogeneous aquifers, *Advances in Water Resources* (Einreichung für August geplant)

Vortrag:

Schüler, L., N. Suciu, S. Attinger, P. Knabner: Filtered density functions for solutes transported in heterogeneous aquifers, *European Geosciences Union General Assembly 2015 (EGU)*, Vienna. (12.-17.04.2015)

Zuwendungsempfänger: Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Senckenberg Anlage 31, 60325 Frankfurt		Förderkennzeichen: 02 E 11062C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3, Wirtsgestein: unabhängig		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012 bis 31.10.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.10.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 728.034,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Wittum	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziele des Projekts sind eine deutliche Beschleunigung und eine wesentlich verbesserte Handhabung der Rechenprogramme d^3f und r^3t , ein verbesserter Umgang mit Modell- und Parameterungewissheiten sowie die Integration der Codes zu einem einheitlichen Werkzeug. Damit soll die Einsetzbarkeit von d^3f und r^3t für Langzeitsicherheitsanalysen erheblich verbessert werden. Hierzu soll im Projekt die Portierung auf Mehrkern- und Graphikprozessoren (AP2), die Umsetzung eines hochskalierbaren gekoppelten DD (Domain Decomposition)-Mehrgitterlösers (AP3), die Kopplung von d^3f und r^3t (AP5) sowie Löser für hochdimensionale Probleme (AP6) eingebracht werden.

Die Ergebnisse werden zusammen mit den Projektpartnern verwertet. Das Simulationssystem UG ist weltweit über 380-mal lizenziert. Diese Nutzergemeinde ist eine ausgezeichnete Plattform zur Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse.

Es erfolgt eine Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Braunschweig, dem Department für Umweltinformatik des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ), Leipzig und dem Institut für Geowissenschaften der Universität Jena.

Das Verbundprojekt ist ein Folgevorhaben der beiden BMBF-Projekte vom 01.10.2006 – 31.03.2011 (FKZ 02 E 10326) und vom 01.10.2008 – 30.09.2012 (FKZ 02 E 10568).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete vom Lehrstuhl Simulation und Modellierung der Universität Frankfurt bearbeitet:

- AP2: Portierung auf Mehrkern- und Graphikprozessoren
- AP3: Umsetzung eines hochskalierbaren gekoppelten DD-Mehrgitterlösers
- AP5: Kopplung von d^3f und r^3t
- AP6: Löser für hochdimensionale Probleme

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Portierung auf Mehrkern- und Graphikprozessoren
Die Arbeiten in AP2 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wurde geschrieben.
- AP3: Umsetzung eines hochskalierbaren gekoppelten DD-Mehrgitterlösers
Die Arbeiten in AP3 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wurde geschrieben.
- AP5: Kopplung von d^3f und r^3t
Die Arbeiten in AP5 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wurde geschrieben.
- AP6: Löser für hochdimensionale Probleme
In der letzten Phase des Projekts fanden ausführliche Vergleiche der numerischen und der analytischen Lösungen statt. Es wurden weitere Parametersätze des Modells getestet. Die Rechenergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den analytischen Lösungen.
Die Arbeiten in AP6 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wurde geschrieben.
- AP7: Entwicklung eines umfassenden graphischen Benutzerinterfaces
Zur Vereinheitlichung der Werkzeuge zur Erstellung von Problemgebieten sowie zur Angabe von problemspezifischen Parametern wurden sämtliche bisher nur im Meshing-Programm ProMesh verfügbaren Meshing-Algorithmen in das in UG für d^3f und r^3t verwendete Scripting-Framework integriert. Dies erlaubt es sowohl einfachere, häufig auszuführende Meshing-Schritte, als auch komplexe Abläufe durch Skripte zu automatisieren. ProMesh generiert zu jedem solchen Skript ein GUI-Werkzeug, über das Skript-Parameter angegeben und die Skripte ausgeführt werden können.
Die Integration in das UG-Scripting-Framework hat einen weiteren entscheidenden Vorteil: Neben der Verfügbarkeit der ProMesh-Tools in UG können diese nun auch über die VRL genutzt werden. Es ist so ohne weiteres möglich, Gittergenerierung mittels visueller Programmierung zu betreiben. Die generierten Gitter lassen sich dann direkt in der Simulation nutzen. Dies ist ein entscheidender Schritt hin zu einer eigenständigen GUI-basierten Simulationsumgebung für d^3f und r^3t .

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten sind abgeschlossen. Die entsprechenden Beiträge zum Abschlussbericht wurden geschrieben.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Die bisher publizierten Berichte und Veröffentlichungen wurden im Halbjahresbericht 2014 (2. Halbjahr) aufgeführt.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11072A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K _d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2012 bis 30.11.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.426.773,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt WEIMAR (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig) dient zur Weiterentwicklung des Smart-K_d-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen, welches im Rahmen des Vorhabens ESTRAL entwickelt und in das Rechenprogramm r^{3t} implementiert wurde. Nach einer Qualifizierung des neuentwickelten Rechenprogramms sollte dieses Konzept so erweitert werden, dass weitere, in natürlichen Systemen wichtige Prozesse berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Rückkopplung von Redoxreaktionen und Ionenaustausch- bzw. Sorptionsreaktionen mit verschiedenen Einflussgrößen sowie die Berücksichtigung von Wässern mit sehr hoher Ionenstärke, bei denen der Pitzer-Formalismus anzuwenden ist. Diese Prozesse sollen nun berücksichtigt werden, um die Vorgänge noch realitätsnäher abzubilden und das Programm auf weitere Systeme anwendbar zu machen. Das hier zu entwickelnde Konzept ist sowohl auf andere Formationen als auch auf andere Codes übertragbar und gestattet somit auch einen Wissenstransfer auf andere Forschungsfelder.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Vergleichsrechnungen mit anderem Code
(Qualifizierung des neuen Rechenprogramms, z. B. mit Programmcode PHAST)
- AP2: Implementierung zusätzlicher Prozesse, Komponenten und Einflussgrößen
(Erarbeitung eines aktualisierten konzeptuellen Modells zur Berücksichtigung weiterer wichtiger Prozesse und Einflussgrößen, z. B. Redoxprozesse, höhere Ionenstärken)
- AP3: Laborexperimente
(Sorptions- und Säulenexperimente im Rahmen von Promotionsarbeiten)
- AP4: Erzeugung von SCM-Datensätzen und K_d Wert Matrizen
(Gewinnung thermodynamischer Sorptionsdaten und K_d-Berechnung)
- AP5: Berücksichtigung weiterer externer FEPs
(Umsetzung weiterer FEPs/Szenarien in Strömungs- und Transportmodellen)
- AP6: Anwendungsrechnungen (Strömungs- und Transportrechnungen)
- AP7: Qualitätsmanagement/Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Weiterführung der Modellrechnungen zu den in AP1 ausgewählten Testfällen und Diskussion mit G-CSC. Entwicklung einer Strategie zur Korrektur identifizierter Abweichungen bei der Massenerhaltung.
- AP2: Überarbeitung/Erweiterung des konzeptionellen Modells: Genauere Festlegung der Behandlung von Al mit Fallunterscheidung, je nachdem ob Calcit vorhanden ist oder nicht. Detaillierte Bewertung der vorliegenden Felddaten zum Deckgebirge Gorleben. Abschließende Diskussion mit BGR zu Redoxprozessen ergab, dass die verfügbaren Daten ungeeignet für eine Konzeptentwicklung sind.
- AP3: Abschluss der Säulenexperimente mit natürlichem Gorleben Sediment sowie Beendigung der Laborexperimente in Bezug auf Migrationsexperimente. Weiterentwicklung des Oberflächenkomplexmodells zur Erhebung von Oberflächenkomplexparametern (SCP) für Orthoklas, Muskovit und Quarz mittels PhreeqC in Kombination mit UCODE. Eu-Speziationsbestimmung (in Lösung) mittels TRLFS unter gegebenen geochemischen Randbedingungen der Säulenversuche. Abschluss aller Batchvorversuche mit Ni, erster Batchvorversuche mit Ca, Batchversuche mit Ni und Quarz sowie erster Batchversuche mit Ni unter verschiedenen geochemischen Bedingungen (Sulfat, Ionenstärke).
- AP7: Durchführung eines Projekttreffens mit dem Verbundpartner HZDR in Braunschweig, eines Treffens zum Informationsaustausch mit der BGR sowie mehrerer Arbeitstreffen zur Konzeptentwicklung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weiterführung und Dokumentation der Modellrechnungen zu den in AP1 ausgewählten Testfällen mit dem weiterentwickelten Transportprogramm d³f++ auf der Codeplattform UG4.
- AP2: Fertigstellung des weiterentwickelten konzeptionellen Modells und Implementierung in das Transportprogramm d³f++.
- AP3: Optimierung der Oberflächenkomplexmodelle zur SCP Bestimmung von Orthoklas, Muskovit und Quarz mit MatLab/Monte Carlo Simulation. Reaktive Transportmodellierung von Eu(III) in Reinmineralphasen sowie synthetischem Sediment. Modellierung von bodenphysikalischen Parametern der Säulenexperimente mittels STANMOD und/oder HYDRUS. Abschluss aller Batchversuche mit Ni unter verschiedenen geochemischen Bedingungen (Sulfat, Ionenstärke). Batchversuche mit Ca und Cs. Bestimmung von SCP aus Sorptionsdaten.
- AP6: Durchführung von Anwendungsrechnungen zum Deckgebirge Gorleben.
- AP7: Durchführung weiterer Projekttreffen mit dem Verbundpartner HZDR.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- J. Haller-Jans: Sorption von Nickel an LDPE und PFA sowie Muskovit, Orthoklas und Quarz unter verschiedenen geochemischen Randbedingungen. Bachelorarbeit, TU-Braunschweig, 2015.
- Ch. Glassneck: Transportversuche von Eu³⁺ an synthetischen und natürlichen Sedimenten. Masterarbeit TU-Braunschweig, 2015.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11072B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K _d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt HZDR		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2012 bis 30.11.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 589.956,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt WEIMAR (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig) dient zur Weiterentwicklung des Smart-K_d-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen, welches im Rahmen des Vorhabens ESTRAL entwickelt und in das Rechenprogramm r^{3t} implementiert wurde. Nach einer Qualifizierung des neuentwickelten Rechenprogramms sollte dieses Konzept so erweitert werden, dass weitere, in natürlichen Systemen wichtige Prozesse berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Rückkopplung von Redoxreaktionen und Ionenaustausch-, bzw. Sorptionsreaktionen mit verschiedenen Einflussgrößen sowie die Berücksichtigung von Wässern mit sehr hoher Ionenstärke, bei denen der Pitzer-Formalismus angewandt werden sollte. Diese Prozesse sollen nun berücksichtigt werden, um die Vorgänge noch realitätsnäher abzubilden und das Programm auf weitere Systeme anwendbar zu machen. Das hier zu entwickelnde Konzept ist sowohl auf andere Formationen als auch auf andere Codes übertragbar und gestattet somit auch einen Wissenstransfer auf andere Forschungsfelder.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Vergleichsrechnungen mit anderem Code
(Qualifizierung des neuen Rechenprogramms, z. B. mit Programmcode PHAST)
- AP2: Implementierung zusätzlicher Prozesse, Komponenten und Einflussgrößen
(Erarbeitung eines aktualisierten konzeptuellen Modells zur Berücksichtigung weiterer wichtiger Prozesse und Einflussgrößen, z. B. Redoxprozesse, höhere Ionenstärken)
- AP3: Laborexperimente
(Sorptions- und Säulenexperimente im Rahmen von Promotionsarbeiten)
- AP4: Erzeugung von SCM-Datensätzen und K_d Wert Matrizen
(Gewinnung thermodynamischer Sorptionsdaten und K_d-Berechnung)
- AP5: Berücksichtigung weiterer externer FEPs
(Umsetzung weiterer FEPs/Szenarien in Strömungs- und Transportmodellen)
- AP6: Anwendungsrechnungen (Strömungs- und Transportrechnungen)
- AP7: Qualitätsmanagement/Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2:

- Literaturrecherche, Datenbewertung und Erstellung einer Datenbasis der wässrigen Mn-Spezies
- Erweiterung der Datenbasis bezüglich U(VI), Np(V) und Nd(III) auf Basis der experimentellen Befunde in AP3
- Update der Datenbasis WEIMAR.dat auf neue PSI/Nagra-Datenbasis und Implementierung aktueller SCM-Datensets für K_d -Berechnung

AP4:

- Bestimmung von SCM-Parametern für die Sorption von U(VI) an Muskovit sowie Np(V) und Nd(III) an Orthoklas und Muskovit (Implementierung in WEIMAR.dat erst nach Veröffentlichung, Paper submitted)
- Aktualisierung der geochemischen Parameter und ihrer Grenzen für K_d -Berechnung für oberen Aquifer (UAF) und Aquitard (AT)
- Implementierung Ionenaustausch zur K_d -Berechnung und Testrechnungen

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2:

- Vergleichende Berechnungen für Extended Debye-Hückel und Pitzer-Datenbasis
- Datenbewertung und Erstellung einer Thermodynamik-Datenbasis für Eu-Festphasen

AP3:

- Langzeit-Leaching Untersuchungen werden fortgeführt zur besseren Charakterisierung der Sekundärphasenbildung und Auflösungskinetik

AP4:

- Festlegung der Parametergrenzen für K_d -Berechnung für unteren Aquifer (LAF)
- Neuberechnungen der K_d -Wolken mit neuer WEIMAR.dat Datenbasis

5. Berichte, Veröffentlichungen

Richter, C., Brendler, V., Stockmann, M., Steudtner, R., Drobot, B.: Influence of calcium on the uranium(VI) interaction with mineral surfaces, GDCh Conference, Dresden, Germany, 2015.

Stockmann, M., Brendler, V., Schikora, J., Flügge, J., Noseck, U.: A new methodology for utilizing multidimensional smart K_d -matrices in transport programs for long-term safety assessment, MIGRATION2015 Conference, Santa Fe, New Mexico, USA 2015.

Richter, C.: Sorption of environmentally relevant radionuclides (UO_2^{2+} , NpO_2^+) and lanthanides (Nd^{3+}) on feldspar and mica, University Heidelberg, Heidelberg, Germany, 2015.

Richter, C.: Sorption of environmentally relevant radionuclides (U(VI), Np(V)) and lanthanides (Nd(III)) on feldspar and mica, KOMPOST - Doktorandenseminar, Dresden, Germany, 2015.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11082	
Vorhabensbezeichnung: Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA) Phase II – Generierung von Rissystemen einer Auflockerungszone im Korngrößenmaßstab und Überführung der Ergebnisse auf die Makroebene zur Simulation eines Injektionsvorganges			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2012 bis 31.07.2015		Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.07.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 713.390,00 EUR		Projektleiter: Dr. Müller	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Der Schwerpunkt in dem Vorhaben VerA Phase II liegt in der Entwicklung einer Modellierungsstrategie, mit dem Ziel, den Injektionsprozess zur Abdichtung der Auflockerungszone rechen-technisch abbilden zu können. Auf dieser Grundlage soll der Nachweis für eine qualitätsgesicherte und dauerhafte Abdichtung der an ein Verschlussbauwerk anliegenden Auflockerungszone erbracht werden.

Üblicherweise werden kontinuumsmechanische Modelle zur Modellierung der Auflockerungszone verwendet. Eine kontinuumsmechanische Beschreibung lässt jedoch eine explizite Darstellung der in der Auflockerungszone vorkommenden Rissysteme nicht zu, da die relevanten Verformungen über ein Mittlungsvolumen homogenisiert werden. Aus diesem Grund wurden in der ersten Phase von VerA Strukturmodelle verwendet, die sich an der Kornstruktur von Steinsalz orientieren, um die auf der Kornebene stattfindenden hydraulischen und mechanischen Prozesse einer Auflockerungszone modellhaft abbilden zu können. In der aktuellen Phase soll dieses Strukturmodell hinsichtlich der Leistungsfähigkeit optimiert werden. Die numerischen Entwicklungsarbeiten sollen durch ein umfassendes Laborprogramm ergänzt werden, um die Modelle zu verifizieren. Anschließend soll ein Transfer der aus den kleinräumigen Modellen abgeleiteten Informationen auf eine größere Ebene erfolgen, mit dem Ziel, die Modellierungen mit der Simulation eines Injektionsprozesses abzuschließen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Weiterentwicklung der Polyederstrukturen
- AP2: Validierung des generellen Verformungsverhaltens von Steinsalz und damit verbundener Bruchprozesse
- AP3: Transfer der kleinräumigen Informationen auf großräumige Modelle
- AP4: Mikrostrukturelle Untersuchungen zum Rissystem einer vergüteten Auflockerungszone
- AP5: Abschließende Untersuchungen zur Langzeitstabilität
- AP6: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP6:

Das Projekt wurde abgeschlossen und der Abschlussbericht an den Projektträger übermittelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11092
Vorhabensbezeichnung: Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 1		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 30.04.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 377.856,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Mischo	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es soll eine Grundrezeptur für einen verbesserten Steinsalzversatz vorgeschlagen werden, dessen Gefüge so stabilisiert ist, dass nach dem Einbau ein praktisch 100 %-iger Befüllungsgrad erreicht wird und die Stützwirkung des Versatzes so hoch ist, dass Auflockerungen (Rissbildungen) im umliegenden Gebirge ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig soll eine Anfangspermeabilität des Versatzes von $< 10^{-14}$ m² erreicht werden. Die Parameter Verformungswiderstand und Permeabilität sollen sich mit zunehmender Einwirkungszeit der Gebirgskonvergenz verbessern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Anpassung möglicher Bindemittelsysteme hinsichtlich Mischbarkeit und Benetzung mit Salzgrus
- AP2: Möglichkeiten der Polyhalitbildung durch Anpassung der in AP1 untersuchten Rezepturansätze (Institut für Anorganische Chemie)
- AP3: Laborversuche zur Bestimmung von Festigkeit, Kriech- und Relaxationsverhalten, Permeabilität und Quellverhalten
- AP4: Untersuchung des Materialverhaltens im Einbauzustand
- AP5: Abschluss Etappe I

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3:

Die Laboruntersuchungen des gefügestabilisierten Salzgrusversatzes am Institut für Gebirgsmechanik in Leipzig wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse werden für den Abschlussbericht zusammengefasst.

AP4:

Mit dem optimierten Salzgruskornmisch sowie einer gesättigten Steinsalzlösung wurde in dem Betrieb „Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft“ ein Vorversuch zum untertägigen Versatzeinbau mit der Versatzschleudermaschine durchgeführt. Die logistischen Abläufe, die erreichte Einbaudichte sowie Optimierungsansätze hinsichtlich der Erstellung von Versatzbauwerken wurden ermittelt. Ein Versuch mit dem gefügestabilisierten Salzgrusversatz wurde auf Basis des Vorversuchs geplant.

Ein Versuchsstand in dem Technikum des Instituts für Bergbau und Spezialtiefbau zur Untersuchung der hydraulischen Stabilität des gefügestabilisierten Salzgrusversatzes während der Einbauphase wurde eingerichtet. Beim Einbau des Materials in den Versuchsstand wurden Mischversuche mit einem handelsüblichen Betonmischer durchgeführt und die Ergebnisse festgehalten.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP4:

Vertiefung der Untersuchungen hinsichtlich der optimalen Verarbeitung des gefügestabilisierten Salzgrusversatzes mit dem Schwerpunkt der Mischungszubereitung in situ. Auswertung des Versuchsstands zum Nachweis der hydraulischen Stabilität des GESAV-Materials.

AP5:

Anfertigung des Abschlussberichtes zu GESAV Phase I. Vorbereitung des Antrags für GESAV Phase II.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation des Forschungsvorhabens auf dem „6th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design, & Operation“ vom 07.09.15 – 09.09.15 in Dresden

S. Becker, D. Freyer, M. Gruner, H. Mischo, R. Moßig, W. Voigt: Salzgrusversatz für die Verfüllung unterirdischer Hohlräume im Salzgestein mit einer Anfangspermeabilität von $< 10E(-11) \text{ m}^2$. Offenlegungsschrift DE 10 2015 005 288 A1, Offenlegungstag: 12.11.2015.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11102
Vorhabensbezeichnung: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: unabhängig	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2012 bis 31.03.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.216.103,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens werden die wissenschaftlichen Ergebnisse von experimentellen und theoretischen FuE-Vorhaben im Hinblick auf ihre Berücksichtigung in Modellvorstellungen und Modelldaten für Langzeitsicherheitsanalysen ausgewertet. Beantragte und laufende Projekte werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Bewertung der Langzeitsicherheit und die Verwendung in einem Safety Case überprüft.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TA1: Bearbeitung grundlegender Aspekte

- Verfolgung und Bewertung internationaler Entwicklungen zu offenen Fragen bei Langzeitsicherheitsnachweisen und Einbringung nationaler Interessen in internationale Aktivitäten.
- Weiterentwicklung methodischer Vorgehensweisen in der Langzeitsicherheitsanalyse bzw. für den Safety Case.
- Diskussion von eigenen und externen Ergebnissen in nationalen Diskussionsforen zur Erarbeitung gemeinsamer Stellungnahmen und Vorgehensweisen zu ausgewählten Themen der Endlagerung in Deutschland.
- Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse und Aufbereitung zur Verwendung in Instrumentarien für Langzeitsicherheitsanalysen.

TA2: Bearbeitung von Schwerpunktthemen

- Entwicklung methodischer Ansätze im Hinblick auf die Abwägung zwischen Sicherheit in der Betriebsphase und Langzeitsicherheit.
- Weiterführende Untersuchungen zur Aufsättigung von Bentonithaltigen Buffermaterialien im Hinblick auf die Aufsättigungsdynamik bei begrenztem Wasserangebot.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

TA1:

- Teilnahme an der IGSC-Sitzung mit Leitung der Topical Session, und Weiterführung der Arbeiten zur Arbeitsgruppe Safety Case Communication. - Teilnahme an dem nächsten Treffen der NEA Initiative „Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M)“ und Mitarbeit in der Arbeitsgruppe „Key information file“. Teilnahme an der General Assembly von CAST und am Projektabschlusstreffen Modaria. Teilnahme an dem Workshop on Handling of Uncertainties der TSWG JA8 in London mit Leitung einer Session.
- Mitarbeit bei den Aktivitäten der IGSC: Leitung der Arbeitsgruppe Safety Case Communication und Präsentation der Arbeiten auf der jährlichen IGSC-Sitzung. Leitung der Topical Session „Role of geoscientific arguments in the siting process“.

- Weiterentwicklung einer FEP-Datenbank für Endlager in Salzformation flacher und steiler Lagerung. Vorstellung der Arbeiten auf dem sechsten „US/German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation“ vom 7. bis 9. September in Dresden.
- Veröffentlichung der Arbeit mit NAGRA zu Radionuklidinventaren in CSD-V Abfällen.
- Für den NEA State-of-the-art report wurde der Stand des Wissens zur Modellierung von Fe(II) in hochsalinaren Lösungen mit Hilfe des Pitzer-Modells zusammengefasst. Die betrachteten Arbeiten beziehen sich auch auf Modelle für Temperaturen $>298.15\text{K}$.
- Erstellung von zwei Teilberichten zu Inventaren und zum Quellterm für C-14 aus UO_2 -Brennstoff und Zircaloy-Hüllen.
- Abschätzung der Mengen Materialien, die Elektronendonatoren und -akzeptoren enthalten als Basis zur Quantifizierung potentieller mikrobieller Effekte in einem Endlager in einer Tonformation.

TA2:

- Auf der Basis der Daten der Nachuntersuchungen im BRIE wurden vereinfachte Modelle der Wasseraufnahme sowohl über eine Kluft ohne eine Zuflussbegrenzung als auch über die Matrix mit geringem Zufluss erstellt.
- Bezüglich der isothermen Aufsättigung mit eingeschränkter Wasserzufuhr wurden zwei Tests über drei Wochen mit Glassinterplatten als Strömungsbegrenzung durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Glassinterplatten mit ihrer Permeabilität von $10\text{-}16\text{ m}^2$ keine bedeutsame Behinderung darstellen. Daher wird zurzeit geprüft, ob sich die Behinderung im Zufluss technisch durch geringfördernde Pumpen realisieren lässt.

4. Geplante Weiterarbeiten

TA1:

- Teilnahme an der RWMC-Sitzung und dem nächsten Treffen der NEA Initiative „Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M)“.
- Leitung der Arbeitsgruppe Safety Case Communication und Vorbereitung eines gemeinsamen Treffens mit NEA-FSC.
- Weiterführung der Arbeiten zu einem gemeinsamen FEP-Katalog. Durchführung eines gemeinsamen Workshops mit SNL vom 1. bis 4. Februar in Washington.
- NEA State-of-the-art report: Im ersten Halbjahr 2016 wird entsprechend der Arbeiten zum Fe(II) der Stand des Wissens zum Fe(III) zusammengefasst.
- Teilnahme an der 92. Sitzung des Arbeitskreises HAW-Produkte.
- Weiterführung der Arbeiten zur Quantifizierung der maximal möglichen Auswirkungen mikrobieller Prozesse in einem Endlager im Ton basierend auf dem Endlagerkonzept Nord aus dem ANSICHT-Vorhaben.

TA2:

- Teilnahme am Workshop der Task Force EBS in Prag. Die beiden Berichte über die Arbeiten zum BRIE und zum Prototype Repository sollen fertig gestellt werden. Fortsetzung der beiden Versuchsreihen zur Bentonitaufsättigung.
- Weiterführung der Zusammenstellung und Bewertung von Analoga-Studien in Ton.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Caruso, S.; A. Meleshyn, A.; Noseck, U.: Estimation and comparison of the radionuclide inventories in vitrified high-level wastes from reprocessing plant. Progress in Nuclear Energy xxx (2015).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11122
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Sorelbeton in Salzformationen – Kurztitel: LAVA		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2012 bis 31.08.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 443.525,00 EUR	Projektleiter: Dr. Moog	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es soll ein Modell entwickelt und experimentell abgesichert werden, mit dem die veränderliche Permeabilität eines Dichtbauwerks aus Sorelbeton in Schacht- und Streckenverschlüssen in Salzformationen infolge der Korrosion durch Salzlösungen zeit- und ortsabhängig beschrieben werden kann. Das Modell soll die diffusions- und advektionsbestimmte Korrosion durch die geringpermeable störungsfreie Sorelbeton-Matrix ebenso beschreiben, wie die Korrosion auf Rissen und entlang der Kontaktflächen Dichtbauwerk-Salzgebirge. Das Vorhaben wird in Kooperation mit dem Vorhaben LASA (Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar) der GRS durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Laborversuche
- AP1.1: Herstellung von Sorelbetonproben und von Korrosionslösungen
- AP1.2: Ermittlung von Materialkenngrößen des Sorelbetons mit ungestörter Matrix sowie von gestörten Proben
- AP1.3: Kaskadenversuch: Versuche zur Ermittlung des Reaktionspfades der Korrosion mit NaCl- und IP21-Lösung
- AP1.4: Vorbereitung der Versuchsreihen
- AP1.5: Durchführung der Versuchsreihen
- AP1.6: Probenahme und Messungen
- AP1.7: Auswertung der Messdaten
- AP2: Modelltheoretische Arbeiten
- AP2.1: Bereitstellung der thermodynamischen Daten
- AP2.2: Aufstellung, Test und Anpassung eines reaktiven Stofftransportmodells zur Beschreibung des diffusions- und advektiv bestimmten Lösungsangriffs auf die poröse Matrix von Sorelbeton
- AP2.3: Aufstellung, Test und Anpassung eines reaktiven Stofftransportmodells zur Beschreibung des Lösungsangriffs auf Risse und auf der Kontaktfläche zum Salz
- AP2.4: Programmierarbeiten zur Aufrüstung des Programmpakets OpenGeoSy-Rockflow/ChemApp für die Berechnung der Modelle
- AP3: Simulationsrechnungen
- AP3.1: Geochemische Gleichgewichtsmodellierung der Ergebnisse aus den Kaskadenversuchen
- AP3.2: Nachmodellierung der Versuchsergebnisse aus den Versuchsreihen
- AP4: Dokumentation der Ergebnisse und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Die Batchversuche, die als Vorversuche für die Kaskadenauslaugversuche zur Bestimmung der Äquilibrierungszeit dienen, wurden im 2. Halbjahr 2015 durchgeführt. Die Ergebnisse im System Sorelbeton/NaCl-Lösung zeigen, dass von einer Äquilibrierungszeit von 11 Tagen auszugehen ist. Die Ergebnisse im System Sorelbeton/IP21-Lösung sind noch nicht vollständig ausgewertet, so dass hier noch keine Aussage getroffen werden kann. Zur Auswertung der Batchversuche werden die Lösungen analysiert und die Veränderung des Phasenbestandes mittels XRD überprüft.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Batchversuche wurden die Kaskadenversuche im System Sorelbeton/NaCl-Lösung im November 2015 neu gestartet.

Die Messzellen für die „Through-Diffusion“ Versuche stehen bereit. Die Prüfkörper für die Vorversuche zur Ermittlung der passenden Prüfkörperhöhe (1 cm / 2 cm / 3 cm) befinden sich derzeit in der 1. Versuchsphase (Aufsättigung).

Die Entwicklung des Verfahrens zur Analyse zylindrischer Prüfkörper läuft.

Die neuen Sorelbetonprüfkörper wurden im Juli 2015 hergestellt und befinden sich zurzeit in der 200-tägigen Abbindephase.

Die Advektionsversuche an Sorelbeton mit IP21- und NaCl-Lösung laufen weiter. Die Hälfte der mit NaCl-Lösung durchströmten Prüfkörper wurde inzwischen aufgrund des deutlichen Permeabilitätsanstieges aus dem Versuch entfernt. Weitere 2 Prüfkörper wurden im Dezember von der permanenten Durchströmung ausgeschlossen. In diesen Prüfkörpern steht die NaCl-Lösung derzeit. Anhand dieser zwei Prüfkörper soll untersucht werden, ob sich bereits während der Durchströmung ein Gleichgewicht zwischen Sorelbeton und NaCl-Lösung eingestellt hat oder ob dieses erst durch eine längere Standzeit der Lösung im Prüfkörper erreicht wird.

AP2:

Zu Vergleichszwecken wurden die Programm-Kopplungen OpenGeoSys/GEMS und MIN3P installiert und jeweils ein einfaches 1D-Szenario modelliert. Bei gleicher Problemstellung kam MIN3P nach wesentlich kürzerer Rechenzeit zum Ergebnis. Das Modul zur Berücksichtigung der Reaktionskinetik für OpenGeoSys/GEMS konnte nicht getestet werden. Ferner kann man feststellen, dass die Bearbeitung der thermodynamischen Datenbasis bzw. die Übernahme von Daten aus THEREDA mit MIN3P einfacher zu bewerkstelligen ist. Daher werden die weiteren Modellrechnungen zum reaktiven Stofftransport in diesem Vorhaben mit MIN3P erfolgen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Auswertung der Batchversuche im System Sorelbeton/IP21-Lösung. Auf Grundlage dieser Ergebnisse Entscheidung über die (erneute) Durchführung der Kaskadenversuche.
- Fortführung der Kaskadenversuche im System Sorelbeton/NaCl-Lösung.
- Fortführung der Advektionsversuche und Beginn der Auswertung (Lösungsanalyse).
- Fortführung der Entwicklung des Verfahrens zur Analyse zylindrischer Prüfkörper.
- Fortführung der Vorversuche für die „Through-Diffusion“ Versuche.
- Start weiterer Advektionsversuche mit dem neu hergestellten Sorelbeton sowie Herstellung kombinierter Prüfkörper „Sorelbeton im Salzmantel“ für Advektions- und Diffusionsversuche.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jantschik,K.; Czaikowski,O.; Moog, H.C.; Wiczorek,K.: Investigating the sealing capacity of a seal system in rock salt (DOPAS project). EUROSAFE 2015, Seminar in Session “Waste Management and Decommissioning & Dismantling”, Brussels (Belgium)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11132
Vorhabensbezeichnung: Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Kurztitel: LASA	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2012 bis 31.08.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 491.350,00 EUR	Projektleiter: Dr. Czaikowski

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das von der EU im Rahmen des DOPAS-Projektes zu 50 % co-finanzierte Vorhaben hat die Bereitstellung von Labordaten für die modelltheoretische Analyse des Langzeitdichtvermögens von Verschlussmaterialien im Zusammenwirken mit der Auflockerungszone zum Ziel. Hierzu sind die notwendigen Kenntnisse und Daten zum geomechanischen und geohydraulischen Materialverhalten auf der Grundlage von laborativen Untersuchungen zu ermitteln und im Hinblick auf einen fundierten Nachweis der Langzeitdichtfunktion eines Schachtverschlusskonzeptes für ein Endlager in Salzformationen zur Verfügung zu stellen.

Das Gesamtziel des Vorhabens wird durch unterschiedliche Projektbeiträge erreicht:

- Laboruntersuchungen am Salz-/Sorelbeton und am System Beton/Gebirge,
- Prozessanalytische Modellrechnungen zur Validierung der THM gekoppelten Stoffmodelle und zur Verbesserung des Verständnisses der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Prozesse im Schachtverschlussystem.

Das Vorhaben leistet damit einen Beitrag zur sicherheitsanalytischen Bewertung des Langzeitverhaltens von Salzformationen als Endlagerwirtsgestein.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Laborative Untersuchungen zum Verhalten des verfestigten Salz-/Sorelbetons in Triaxialdruckversuchen mit Ermittlung des Kompaktionsverhaltens, der Permeabilitäts-Porositäts-Beziehung, der Dilatanz- bzw. Festigkeitsgrenze. Zusätzlich soll das langzeitige mechanische und hydraulische Verhalten in ein- / triaxialen Kriechversuchen ermittelt werden. Durchführung weiterer Untersuchungen zur Bestimmung des HM Verhaltens des Systems Beton/Gebirge.

AP2: Prozessanalytische Modellierung: Auswahl geeigneter Stoffmodelle und Materialdaten, Nachprüfung der Anwendbarkeit der Salzmodelle für Salz-/Sorelbeton, Bestimmung der Stoffmodellparameter aus den Laborversuchen, Kalibrierung und Validierung der ausgewählten Stoffmodelle durch Simulation typischer Laborversuche. Durchführung einer HM gekoppelten Modellrechnungen zur Prognose des Langzeitverhaltens eines Schachtverschlussystems im Salinar.

AP3: Ergebniszusammenführung und Berichterstattung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im 1. Halbjahr 2015 wurden triaxiale Kriechversuche an 4 Proben parallel durchgeführt. Für die ersten beiden Laststufen mit einer deviatorischen Beanspruchung von 8 MPa bzw. 16 MPa konnte, im Gegensatz zu den Auswertungen des UCc-Versuches aus 2014 an ungeschädigtem Salzbeton, keine ein-

deutige Trennung zwischen transientem und stationärem Kriechverhalten erfolgen. Erst in der dritten deviatorischen Laststufe mit 36 MPa konnte nach 23 Tagen erstmals ein Kriechbruchverhalten aufgezeichnet werden.

Im 2. Halbjahr wurden dann die Untersuchungen zum langzeitigen Deformationsverhalten an Salzbeton fortgeführt und im selben Prüfstand und bei identischen Spannungsrandbedingungen zwei Sorelbetonproben getestet. Mit Bezug zu den vorlaufenden Kriechversuchen wurde hier die 3. Laststufe bei einer deviatorischen Beanspruchung von 20 MPa und einer Minimalspannung von 2 MPa über eine sehr lange Versuchszeit von ca. 140 Tagen gehalten, um Materialparameter für ein stationäres Deformationsverhalten ableiten zu können. Im Vergleich mit den Salzbetonproben weisen die verwendeten Sorelbetonproben ebenfalls ein deutlich zeitabhängiges Deformationsverhalten auf, wenn auch in seiner Ausprägung deutlich steifer.

Auch in diesem Fall ist es nicht gelungen, trotz vorgeschädigtem Probenmaterials Gaspermeabilitäten bei einem Injektionsdruck von 0,8 MPa während des Versuchs zu messen. Nachuntersuchungen an einer entnommenen Salzbetonprobe haben ergeben, dass die Gasdichtigkeit der Probe bei einer Minimalspannung von 2 MPa auch noch bei einem maximalen Injektionsdruck von 1,6 MPa gegeben ist.

Weitere Untersuchungen sollen Hinweise darauf geben, welchen Einfluss die anfängliche Rekompaktionsphase auf die durch Vorschädigung zuvor geschaffenen Wegsamkeiten im Salzbeton hat und ob das Kriechverhalten thermisch beeinflusst ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung experimenteller Untersuchungen an Salzbetonproben
- Beginn experimenteller Untersuchungen an Sorelbetonproben
- Fortführung modelltheoretischer Untersuchungen, Vergleich mit Messbefunden
- Dokumentation

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jantschik, K.; Czaikowski, O.; Moog, H.; Wieczorek, K.: Investigating the sealing capacity of a seal system in rock salt (DOPAS project). EUROSAFE – Towards convergence of technical nuclear safety practices in Europe, November 2-3, 2015, Brussels, Belgium.

Czaikowski, O.; Jantschik, K.; Wieczorek, K.: The DOPAS Full-Scale Demonstration of Plugs and Seals Project and related GRS national RD&D programmes – Investigating viscous deformation of a seal system in rock salt. ISRM Regional Symposium EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium, October 7-10, 2015, Salzburg, Austria.

Czaikowski, O.; Jantschik, K.; Moog, H.; Wieczorek, K.: Plugging & Sealing project DOPAS. 6th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operations, September 7-9, 2015, Dresden, Germany.

Czaikowski, O.; Jantschik, K.; Wieczorek, K.: Modelling the long-term deformation behaviour of concrete based sealing materials in rock salt related to the DOPAS project. CODE_BRIGTH Workshop and Consortiums Meeting, May 21-22, 2015, UPC Barcelona, Spain.

Jantschik, K.; Czaikowski, O.; Leo Vargas, R.: Time dependent deformation behaviour of salt concrete – Laboratory investigations and modelling activities related to the DOPAS Project. 13th Conference on Creep and Fracture Engineering Materials and Structures (CREEP 2015). 31.05 – 04.06.2015, Toulouse, France

Hörbrand, T.; Jantschik, K.; Czaikowski, O.: Sealing of a former salt mine – investigating viscous behaviour of salt concrete in the context of the DOPAS project. LUCOEX end conference. 2. – 4. June 2015, Oskarshamn, Schweden.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11142
Vorhabensbezeichnung: Performance Assessment of Sealing Systems – Kurztitel: PASS	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3, Wirtsgestein: Salz + Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2012 bis 31.08.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 216.801,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben PASS stellt die von der GRS im Rahmen des internationalen Vorhabens „Full Scale Demonstration of Plugs and Seals“ (DOPAS) durchzuführenden Arbeiten in den Tasks 5.2 und 5.3 des Arbeitspakets 5 dar. Das Projekt DOPAS findet im 7. Rahmenprogramm der Europäischen Union statt. Die GRS nimmt daran als maßgeblicher Partner teil und ist Arbeitspaketleiter des Arbeitspakets 5.

Die Arbeiten in PASS beziehen sich vor allem auf die Auswertung der experimentellen Arbeiten und Prozessmodellierungen im Rahmen der Projekte LAVA, LASA und THM-Ton sowie der Arbeiten der internationalen Projektpartner im Projekt DOPAS im Hinblick auf deren Verwertbarkeit zum Nachweis der Langzeitsicherheit.

Die wichtigsten Aspekte dabei sind die

- Identifizierung der für den Langzeitsicherheitsnachweis relevanten Prozesse, die
- Konzeptionierung von Modellen für integrierte Rechenprogramme, die
- Durchführung von integrierten Rechnungen für generische Endlager, die
- Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen zur Bestimmung der Robustheit des Endlagersystems in Bezug auf die geotechnischen Verschlussbauwerke und die
- Identifikation der verbleibenden Unsicherheiten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Verhalten des Verschlusssystems. Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Arbeitsschritte: Stand von Wissenschaft und Technik zum Prozessverständnis, Prognose der Prozessabläufe über große Zeiträume und Identifikation relevanter Prozesse

AP2: Konzeptuelle Modelle und Prozessanalyse. Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Arbeitsschritte: Review der nationalen und internationalen Standards und Bestimmungen und Entwicklung der konzeptuellen Modelle für die Wirtsgesteinstypen Salz und Tonstein

AP3: Langzeitsicherheitsanalytische Modelle und integrierte Analyse. Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Arbeitsschritte: Implementierung, Integrierte Analyse sowie Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse

AP4: Projektleitung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Kommentierung und Diskussion für die unter der Federführung von SKB durchgeführten Arbeiten im AP2 von DOPAS zum Thema „Designbasis und Kriterien“ der in DOPAS betrachteten Verschlussbauwerke.
- AP3: Das LOPOS Segmentmodell für Verschlüsse mit Berücksichtigung der Umlösung der Verschlussmaterialien und dem Verschließen der EDZ wurde entwickelt. Deterministische Testrechnungen zum Verhalten einer Streckenabdichtung in einem Endlager im Salz wurden durchgeführt und die Ergebnisse mit den bisher durchgeführten Rechnungen mit Excel verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Segmentmodell wie vorgesehen funktioniert.
- AP4: Teilnahme an den Management-Team und General Assembly Meetings des Projekts DOPAS in Stockholm und London.
 Beteiligung an der Vorbereitung und Durchführung des DOPAS Trainingskurses. Dieser fand für eine Woche im September sowohl an der technischen Universität Prag, am Forschungszentrum Rez und im Untertagelabor Josef in der Nähe von Prag mit 12 Trainees aus neun Ländern statt. Die GRS hat dabei Trainingseinheiten zum Sicherheits-, Endlager- und Verschlusskonzept im Salz und zur integrierten Langzeitsicherheitsanalyse beigetragen.
 Erstellung der Unterlagen für den DOPAS 36-Monate Report für die EU, sowohl für die Arbeiten der GRS, als auch als Arbeitspaketleiter Zusammenstellung der Arbeiten der anderen Projektpartner im Arbeitspaket 5 von DOPAS.
 Durchführung eines Arbeitstreffens am 29.09.2015 bei der GRS Berlin mit den im Arbeitspaket 5 von DOPAS beteiligten Organisationen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Abschließende Zuarbeit zum Abschlussbericht der bei den unter „Durchgeführte Arbeiten“ genannten Arbeiten im AP2 von DOPAS zur Design-Basis.
- AP2: Analyse der in DOPAS bei den experimentellen Arbeiten erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die Kompatibilität mit dem bereits vorhandenen Kenntnisstand, bzw. Bewertung der Notwendigkeit von Erweiterungen am bisherigen konzeptuellen Modell.
- AP3: Durchführung von probabilistischen Rechnungen mit LOPOS unter Verwendung des neu entwickelten Segmentmodells für den Testfall einer Streckenabdichtung. Durchführung von deterministischen Testrechnungen für das Schachtverschlusskonzept aus der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben.
 Beginn der Erstellung des Berichts zur Dokumentation der von der GRS durchgeführten Arbeiten (Deliverable D5.8).
- AP4: Organisation des WP5 in DOPAS als Arbeitspaketleiter.
 Beginn der Erstellung des WP5-Abschlussbericht zur Integration der Arbeiten aller Projektpartner in WP5 von DOPAS (Deliverable 5.10).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 11152
Vorhabensbezeichnung: Prozess-Simulation zur Konzeption von Stütz- und Dichtelementen für Schachtverschlüsse (ProSiD)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz + Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2012 bis 31.08.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 297.778,00 EUR	Projektleiter: Jobmann

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Eine wesentliche Komponente in Verschlusskonzepten für Schächte ist eine Schottersäule, die durch ihre Setzungsstabilität als Stützelement für aufliegende Dichtelemente dient. Eine Alternative dazu wäre eine Füllsäule aus Salzgrus. Der Vorteil bei der Verwendung von arteigenem Material ist die Tatsache, dass man nicht nur eine Stützsäule hätte, sondern dass man zusätzlich auch von einer langfristigen Dichtwirkung dieser Säule Kredit nehmen kann. Durch die Konvergenz des Gebirges wird das Salzgrus weiter verdichtet und in seiner Durchlässigkeit reduziert. Um das zu erreichen, bedarf es einer bestmöglichen Verdichtbarkeit des arteigenen Materials sowie geeigneter Verdichtungsverfahren. Im Rahmen dieses Vorhabens soll anhand von Modellberechnungen zum einen untersucht werden, bei welcher Korngrößenverteilung eine bestmögliche In-situ-Verdichtbarkeit erreicht werden kann und zum anderen, welche verfahrenstechnischen Maßnahmen im Rahmen von In-situ-Verdichtungsprozessen eine bestmögliche Verdichtung erwarten lassen.

Zu diesem Zweck wird ein Partikelmodell entwickelt, mit dessen Hilfe unterschiedliche Korngrößen- bzw. Kornverteilungen generiert und ein Verdichtungsprozess simuliert werden kann. Es wird untersucht, welche Korngrößenverteilung die bestmögliche Verdichtbarkeit gewährleistet und welchen Einfluss unterschiedliche Verdichtungsverfahren auf das Verdichtungsergebnis haben. Bei den Verfahren handelt es sich um die Rüttelverdichtung und die Impulsverdichtung. Bei beiden Verfahren handelt es sich um Methoden, bei denen das Material in kurzer Zeit verdichtet wird. Rheologisches Materialverhalten wie beispielsweise Kriechen kommt dabei nicht zum Tragen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Materialoptimierung

AP2: Verfahrensoptimierung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die modelltheoretischen Arbeiten in diesem Vorhaben liefern grundlegende Informationen zur Material- und Einbauspezifikation einer Füllsäule als Stütz- und Abdichtkomponente. Es wird ein Partikelmodell mittels des PFC-Computer Codes entwickelt, mit dessen Hilfe unterschiedliche Partikelverteilungen sowie Kornformen generiert und ein technischer Verdichtungsprozess simuliert werden kann.

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten an einem Partikelmodell, das in der Lage ist, eine impulsartige Verdichtung zu simulieren, fortgeführt. Das Prinzip der Impulsverdichtung besteht darin, dass mit Hilfe eines Stempels impulsartig Belastungen auf eine Materialmischung aufgebracht werden. Das Ergebnis der Impulsverdichtung ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig wie Stempelgewicht, Fallhöhe, Impuls-geschwindigkeit, Schlagfrequenz, Anzahl der Impulse und den Materialeigenschaften der zu verdichtenden Probe.

Nach Erzeugung geeigneter Kornformen und Mischungsverhältnissen wurde mit Testrechnungen zur Simulation der schlagenden Verdichtung und zur Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse begonnen. Um das Modell zu kalibrieren, wurden Ergebnisse von Verdichtungsversuchen aus dem Labor herangezogen. Mittels eines Marschallverdichters wurden an der TU Bergakademie Freiberg sowohl reines Salzgrus als auch verschiedene Salzgrus-Tongemische verdichtet. Als Vergleichsgröße wurde die erreichte Porosität als Folge der eingebrachten Verdichtungsenergie verwendet. Erste Testrechnungen deuten darauf hin, dass eine Chance besteht, die Laborergebnisse im Modell wiederzuspiegeln zu können. Eine Schwierigkeit besteht unter anderem darin, dass die Berechnungsläufe zum Teil mehrere Wochen benötigen, so dass Ergebnisverbesserungen nur langsam erfolgen können.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der Modellierungsarbeiten zur Simulation einer schlagenden Verdichtung und Fertigstellung der Kalibrierung des Modells anhand von entsprechenden Verdichtungsversuchen im Labor.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11182A
Vorhabensbezeichnung: Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase - SANToS	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 537.700,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit von in Fragen der Endlagerung zwischen ROSATOM und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) soll im Themengebiet zur „*Sicherheitsanalyse von Endlagern in oberflächennahen Tonformationen in der Nachbetriebsphase*“ die Überprüfung der Datengrundlage und des Instrumentariums zur Durchführung einer Sicherheitsanalyse für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation durchgeführt werden.

Das auf der Grundlage der lokalen russischen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse entwickelte Endlagerkonzept wird mit den im Rahmen deutscher Forschungsprojekte (z. B. AnSichT) entwickelten Konzepten mit dem Ziel verglichen, ggf. Möglichkeiten zur Optimierung des deutschen Sicherheitsnachweiskonzeptes aufzuzeigen. Die Übertragbarkeit von Erfahrungen, Ergebnissen, Interpretationen und Daten aus dem russischen Konzept auf Deutschland wird geprüft.

Die gemeinsame Bearbeitung durch BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY soll eine ausgewogene und vollständige Betrachtung aller Instrumentarien gewährleisten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektkoordination
- AP2: Review der geologischen Gesamtsituation und ergänzende Gesteinsuntersuchungen
- AP3: Systemanalyse
- AP4: Verschlusskonzept und Nachweisführung
- AP5: Berechnungen zur Radionuklidenausbreitung
- AP6: Berichtswesen

GRS ist federführend für das Arbeitspaket 5. Dieses gliedert sich in die Unteraufgaben:

- AP5.1: Indikative Berechnungen mit generischen Modellen
- AP5.2: Berechnungen mit präzisierten Modellen
- AP5.3: Variationsrechnungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Diskussion der vorliegenden Informationen zur geologischen Situation am Standort Sosnovy Bor. Kommentierung eines ersten Berichtsentwurfs der BGR zur geologischen Situation.

Treffen zur Diskussion der Fragen der Umsetzung des geologischen Modells in ein Rechengitter für d^3f und r^3t .

AP5: Zusammenstellung der Modelldaten für die Verwendung in den langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen zur Radionuklidenausbreitung mit CLAYPOS, POSA und BioTREND. Ableitung und Übertragung von Parametern aus international verfügbaren Quellen für diejenigen Modelldaten, die nicht aus der standortspezifischen Dokumentation vorhanden sind. Dies betrifft vor allem einen vollständigen Datensatz zum Aktivitätsinventar und den Transportparametern. Für das Aktivitätsinventar wurde auf Daten der Generic Phased Disposal System Documentation von Nirex 2001 zurückgegriffen, das für einige dokumentierte Leitnuklide am besten zu dem Inventar am Standort passt. Für die Transportparameter wurden Daten aus dem Endlagerprogramm der Nagra übernommen und teilweise auf vorhandene standortspezifische Daten skaliert. Für alle Eingabedaten wurden Bandbreiten für eine probabilistische Rechnung definiert.

Es wurde ein Rechenmodell mit den Modulen CLAYPOS, POSA und BioTREND in der Oberfläche Xenia erstellt und erste langzeitsicherheitsanalytische Rechnungen durchgeführt. Dabei wurden Vergleiche der Rechenprogramme CLAYPOS und POSA vorgenommen und der Einfluss einer advektiven Strömung untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Diskussion des geologischen Modells für den Standort Sosnovy Bor.

AP3: Diskussion der Liste der zu betrachtenden FEP.
Erarbeitung von ersten FEP-Beschreibungen.

AP5: Erstellung eines geometrischen 2D/3D-Modells auf Basis des geologischen Modells der BGR zur Verwendung in den Simulationsprogrammen d^3f und r^3t zur Modellierung der Grundwasserbewegung und des Schadstofftransports. Beginn der Zusammenstellung der notwendigen Eingangsdaten für die Modellierungen mit d^3f und r^3t .

Diskussion der festgelegten Eingangsdaten und derer Bandbreiten mit den nationalen und internationalen Projektpartnern.

Diskussion der ersten Ergebnisse aus den langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen mit den nationalen und internationalen Projektpartnern.

Eventuell Anpassung der Modellparameter auf Grund der Diskussion und Wiederholung der Rechnungen mit den angepassten Modellparametern.

Vorbereitung probabilistischer Rechnungen mit den Rechenprogrammen CLAYPOS, POSA und BioTREND.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11182B
Vorhabensbezeichnung: Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase - SANToS		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 352.065,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Von russischer Seite wird zurzeit geprüft, ob ein Endlager in einer diagenetisch überprägten Tonsteinformation errichtet werden kann. Im Rahmen dieses Vorhabens werden sicherheitstechnische Teilaspekte erarbeitet, die zu einem späteren Zeitpunkt zu einer Bewertung von Standorten in Tonformationen beitragen können. Das besondere Interesse an den gemeinsamen Arbeiten ist darin begründet, dass es im Rahmen des Vorhabens auf der Grundlage realer Erkundungsdaten möglich ist, sicherheitsanalytische Instrumentarien zu testen und ihre Übertragbarkeit auf andere Regionen bzw. Standorte zu bewerten.

Es wird ein Review der geologischen Gesamtsituation durchgeführt. Darauf aufbauend soll ein geologisches Standortmodell erstellt werden, das als Grundlage sowohl für die Entwicklung eines Verschlusskonzeptes, als auch für die Prognose der geologischen Langzeitentwicklung dient. Ausgehend von der Strukturierung des FEP-Kataloges, der im FuE-Vorhaben AnSichT erarbeitet wird, soll ein spezifischer FEP-Katalog entworfen und die Prozesse selektiert werden, die für eine Endlagerung in den Tonsteinformationen der zu untersuchenden Region relevant sind. Abschließend soll mittels Berechnungen zur Radionuklidenausbreitung die Isolationswirkung der Gesamtsystems bestehend aus der geologischen und den geotechnischen Barrieren analysiert und bewertet werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektkoordination
- AP2: Review der geologischen Gesamtsituation und ergänzende Gesteinsuntersuchungen
- AP3: Systemanalyse
- AP4: Verschlusskonzept und Nachweisführung
- AP5: Berechnungen zur Radionuklidenausbreitung
- AP6: Berichtswesen

Die DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend beteiligt an den Arbeitspaketen 1, 3, 4 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden die Untersuchungen zu den standortspezifischen Belastungen bei der Auffahrung, dem Ausbau der untertägigen Strecken und dem Einbau von Dichtelementen fortgeführt. Das entwickelte numerische Modell ist in der Lage, die Auffahrung einer Strecke in der betrachteten Tonformation ebenso zu simulieren, wie das Setzen von einzelnen Ausbauschaalen, Widerlagern und Dichtelementen. Das bisherige Endlagerkonzept geht davon aus, dass die untertägigen Strecken aufgrund der Standortgegebenheiten durch einen Betonausbau stabilisiert werden. Im ersten Entwurf für das Verschlussystem wurde angedacht, im Bereich von quellfähigen Dichtelementen den Betonausbau zu entfernen, um einen Kraftschluss zum Gebirge und damit eine gute Abdichtwirkung zu erzielen. Allerdings zeigen die indikativen Berechnungen an einer einzelnen Strecke unter Verwendung der lokationsspezifischen Parameter, dass das Entfernen des Ausbaus, auch nur über wenige zehner Meter, zu einer erheblichen Auflockerung des Gebirges im Bereich der Dichtelemente führt. Eine solche Auflockerung in Bereichen, die besonders dicht gemacht werden sollen, ist kontraproduktiv. Alternative Lösungen werden derzeit angedacht.

Von Seiten der BGR wurde ein geologisches dreidimensionales Modell im Entwurf auf Basis der von russischer Seite zur Verfügung gestellten Untersuchungsergebnisse entwickelt. Die Informationsdichte ist auf Grund der Lage der verschiedenen Untersuchungsbohrungen an dem Standort sehr heterogen. Dadurch bedingt ergeben sich teilweise sehr kleinräumige Modellstrukturen, die eine Vernetzung für numerische Modellierungen erheblich erschweren. Auf mehreren Arbeitstreffen und unter Rücksprache mit den russischen Kollegen wurde diskutiert, welche Vereinfachungen an dem Modell vorgenommen werden können, um ein brauchbares Modell für Strömungs- und Transportmodellierungen erzeugen zu können. Ein abschließendes Ergebnis steht noch aus.

Neben den geplanten Strömungs- und Transportmodellierungen soll dieses Modell dann auch dazu genutzt werden, ein vollständiges Verfüll- und Verschlusskonzept zu entwickeln und sinnvolle Lokationen für Streckenabdichtungen zu selektieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung des geologischen Modells, das seitens BGR entwickelt wird, im Hinblick auf eine geometrische Vereinfachung als Schnittstelle für numerische 3D-Modelle.

Entwicklung eines Entwurfes für ein vollständiges Verfüll- und Verschlusskonzept, insbesondere für die geplante Rampe, da diese als erstes verschlossen werden soll.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11193A
Vorhabensbezeichnung: Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2013 bis 31.03.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.293.954,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kudla	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben ELSA2 hat folgende Ziele: 1. Entwicklung eines Schachtverschlusskonzeptes als standortunabhängiges Grundkonzept für Salz- und Tonsteinformationen. 2. Test von einzelnen Funktionselementen im Labor und in halbtechnischen Versuchen mit Entwicklung, Test und Kalibrierung von Materialmodellen zur modelltheoretischen Beschreibung des Materialverhaltens für die rechnerische Nachweisführung. Untersuchungsschwerpunkte sind Füllsäulen aus verdichtetem Steinsalz, Kalotten aus Basaltsteinen als Zusatzelemente in setzungsstabilen Schottersäulen, Widerlagerelemente aus MgO-Beton, Weiterentwicklung von Vergütungsverfahren für konturnahe Gebirgsbereiche und Kontaktzone, Weiterentwicklung der Bauausführung und Qualitätskontrolle von Asphalt dichtungen, Zusatzuntersuchungen zum Bentonitdichtelement (z. B. Integration von Äquipotentialsegmenten), Modelltheoretische Analyse von Bauzuständen sowie Belastungs- und Strömungsprozessen. Das Vorhaben ELSA2 entspricht dem Schwerpunkt 3 der Technologie-Plattform (IGD-TP): "Plugging and Sealing".

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse für HAW-Endlager
- AP2: Planung für halbtechnische Versuche in situ
- AP3: Laborversuche zu den Arbeitsschritten 2.1 bis 2.6
- AP4: Halbtechnische Versuche zu den Arbeitsschritten 2.1 bis 2.6
- AP5: Modellierung
- AP6: Berichterstattung

AP1 und AP6 werden gemeinsam mit DBE TECHNOLOGY federführend bearbeitet. Die TU Bergakademie Freiberg ist federführend für AP2 bis AP4. Bei AP5 ist DBE TECHNOLOGY federführend.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Endfassung des Teilberichtes liegt vor.
- AP2: Entwurf des Teilberichtes liegt vor.
- AP3: Als Alternative zur Bitumen-verfüllten Schottersäule wurde eine neue Asphaltrezeptur mit abgerundetem Basaltschotter entwickelt. Abschluss der Arbeiten. Teilbericht in Arbeit.
- AP4: Der halbtechnische Versuch zum Einbau der Salzgrus-Ton-Mischung in einem Gesenk (D = 3 m) mit dem Impulsverdichter wurde erfolgreich abgeschlossen und die Ergebnisse ausgewertet. Es wird eingeschätzt, dass in Folge der Impulsverdichtung unter technischen Bedingungen eine verbleibende Gesamtporosität von 10 % erreicht werden kann.
- Die Versuche BIT-utB-01 und BIT-utB-02 wurden durch Überbohren (D = 0,5 m) rückgebaut. Dabei wurden für Untersuchungen des Bitumeneindringverhaltens Proben aus der Kontaktzone zum Steinsalz gewonnen.
- In der Kontaktzone zwischen Steinsalz und dem MgO-Beton C3 wurde eine effektive Gaspermeabilität von $1,5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ gemessen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Endfassung Bericht.
- AP2: Endfassung Bericht.
- AP3: Endfassung Bericht.
- AP4: Einbau des In-situ-Bohrlochversuches Asp-utB-02 (Test der neuen Gussasphaltrezeptur), neuer Termin KW4 und KW5 2016.
- Partieller Rückbau und Probengewinn am Großbohrlochversuch mit MgO-Beton C3.
- AP6: Entwurf des zusammenfassenden Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

U. Glaubach, M. Hofmann, M. Gruner, W. Kudla: The ELSA Project – Phase 2. 6th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operation. Dresden, 09.09.2015

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11193B	
Vorhabensbezeichnung: Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz + Ton			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2013 bis 31.03.2016		Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 597.233,00 EUR		Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen dieses Vorhabens sollen allgemein gültige Grundkonzepte für Schachtverschlüsse in Salz- und Tonsteinformationen entwickelt werden. Das Verschlussystem soll modular aufgebaut sein, damit es an unterschiedliche lokale Situationen und Bedingungen angepasst werden kann. Einzelne Funktionselemente eines solchen Verschlusses sollen im Labor und in halbtechnischen Versuchen auf ihre Eignung getestet werden. Um in der Lage zu sein, rechnerische Zuverlässigkeitsnachweise zu führen, sollen Materialmodelle entwickelt und getestet werden, die in der Lage sind, das Materialverhalten adäquat zu beschreiben.

Um die genannten Ziele zu erreichen, werden vielversprechende Funktionselemente, wie eine Füllsäule aus verdichtetem Steinsalz, Basaltsteinkalotten als Zusatzelemente in Schottersäulen und Bitumendichtelemente im Rahmen von Labor- und In-situ-Untersuchungen getestet. Zu Verbesserung der Einbautechnologie werden Verfahren zur Injektion und zur Vergleichmäßigung einer Fluidaufnahme von Abdichtmaterial weiter entwickelt und getestet. Begleitet werden diese Untersuchungen durch modelltheoretische Arbeiten zur Analyse von Bauzuständen sowie Belastungs- und Strömungsprozessen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse für HAW-Endlager
- AP2: Planung für halbtechnische Versuche in situ
- AP3: Laborversuche
- AP4: Halbtechnische Versuche
- AP5: Modellierung
- AP6: Berichte

Die DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend beteiligt an den Arbeitspaketen 1, 5 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Entwurf zum Teilbericht AP1 wurde von der TU Bergakademie Freiberg und DBE TECHNOLOGY GmbH in Teilen überarbeitet und abgestimmt.

Für das Stoffmodell des Bitumens wurde eine Erweiterung um die Strukturviskosität geplant. Zur Abbildung dieses Verhaltens wird der Ansatz nach Cross-WLF (Williams-Landel-Ferry) genutzt. Zur Kalibrierung des Modells wurde zusammen mit der TU Bergakademie Freiberg ein erweitertes Versuchsprogramm erarbeitet. Die zusätzlichen Scherversuche sollen eine ausreichende Datenbasis für ein Destillations- und ein Oxidationsbitumen liefern. Parallel dazu erfolgte die Erweiterung des numerischen Modells.

Die numerische Modellierung von Setzungen einer Schottersäule wurde im Berichtszeitraum weitergeführt. Nach der Silotheorie steigen die Spannungen ab einer bestimmten Schotterfüllhöhe nicht konstant weiter an, sondern streben gegen einen Grenzwert. Dieser sogenannte Siloeffekt begründet sich aus der reibungsbedingten Abstützung des Schüttgutes an der Bohrlochwand. Unter Verwendung des bereits entwickelten Partikelmodells und der aus der Sensitivitätsanalyse abgeleiteten "Best Design"-Werte wurden Schottersäulen zur Beurteilung des mechanischen Verformungsverhaltens generiert. Die simulierten Spannungsverteilungen entsprachen zunächst nicht dem erwarteten Verlauf. Die Ursachen wurden innerhalb des verwendeten numerischer Codes oder in einer nicht hinreichend genauen Abbildung des Materialverhaltens vermutet. Zur Überprüfung des Materialverhaltens wurden zusätzliche Oedometer-Versuche mit den Schotterpartikeln modelliert. Die Modelle geben das erwartete Materialverhalten wieder. Zusätzlich wurden weitere Vergleichsrechnungen zur Anpassung des numerischen Codes sowie der Steifigkeit und des internen Dämpfungsverhaltens durchgeführt.

Parallel zur Erarbeitung des Schottermodells wurde die Simulation dynamischer Belastungen (Erdbeben) weitergeführt. In ersten Testmodellen mit einer vereinfachten Schottersäule wurde die Anregung der Partikel mit einfachen Sinuswellen simuliert. Das Ausbreitungsverhalten von Erdbebenwellen wurde unter Anwendung entsprechender dynamischer Randbedingungen untersucht. Dabei wurde überprüft, ob die Reflektion der Schwingungen an offenen Flächen und Auflasten korrekt wiedergegeben wird. Zusätzlich wurde geprüft, wie eine nicht näher definierte Kalotte in den Modellen berücksichtigt werden kann. Die Testmodelle wurden anschließend um eine beispielhafte Anregungswelle eines Erdbebens erweitert. Die Testmodelle bilden das erwartete Verhalten zufriedenstellend ab.

Im Berichtszeitraum wurde die Erstellung des Teilberichts AP5 (Modellierung) begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP5: Fortführung der Arbeiten zur rechnerischen Simulation des Materialverhaltens von Bitumen, Abschluss der Arbeiten zu den Setzungen einer Schottersäule unter statischer und dynamischer Belastung, Abschluss Teilbericht AP5

AP6: Berichtswesen, entsprechend der vereinbarten Berichtsstruktur

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11203A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Kristallin	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2013 bis 29.02.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 266.200,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Während der Kenntnisstand zur aquatischen Chemie der Radionuklide mittlerweile große Fortschritte gemacht hat, sind bei der Kolloidproblematik generell noch viele Fragen offen. Die Mechanismen der Kolloidentstehung in einem Endlager sind noch nicht ausreichend verstanden und der kolloidgetragene Radionuklidtransport in einem Endlagersystem ist für ein bestimmtes Szenario derzeit schwer zu quantifizieren. Die Bentonitbarriere gilt in vielen Endlagerkonzepten als eine relevante Kolloidquelle. Je nach den geochemischen Gegebenheiten können kolloidale Tonpartikel aus dem Bentonit freigesetzt werden.

Hauptziel des Vorhabens ist es, ein verbessertes Verständnis der Radionuklid-Kolloid und Kolloid-Gesteinsoberflächen Wechselwirkung und der zugrundeliegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erreichen und auf dieser Basis die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation zu bewerten. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz erarbeitet. Der Beitrag des INE konzentriert sich auf experimentelle Arbeiten im Labor und in Untertagelabors sowie die begleitende Erstellung von Strömungs- und Transportmodellen. Die Arbeiten der GRS fokussieren sich auf die Anwendung und Qualifizierung von Rechenprogrammen für die Langzeitsicherheitsanalyse. Im vorliegenden Bericht werden die Arbeiten der GRS beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelles Programm zum kolloidgetragenen RN-Transport (INE)
- AP1.1: Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP1.2: Kolloidgetragene Radionuklid-Migration
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Simulationsrechnungen für weitere CFM Homolog/RN Experimente (GRS)
- AP2.2: Simulationsrechnungen für Mock-Up Test und integriertes CFM Experiment (GRS)
- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen im Kristallingestein (INE)
- AP3: Integration der Ergebnisse und Abschlussdokumentation (GRS/INE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Diskussion und Planung von Benchmark-Rechnungen zur Speziation der in den Feldexperimenten verwendeten Radionuklide in Bentonit-Porenwasser, Grimsel-Grundwasser und entsprechenden Mischwässern. Beginn erster Vergleichsrechnungen zu den 2002 in CRR durchgeführten Rechnungen unter Verwendung der im Vorhaben WEIMAR erstellten thermodynamischen Datenbank und Identifizierung von Datenlücken.

Weiterführung der Rechnungen zum Langzeitverhalten von Pu-242 und Am-243 in dem Feldexperiment CFM RUN 12-02. Systematische Variation von Modellparametern und Überprüfung ihres Einflusses auf das Tailing in den Durchbruchkurven und Vergleich mit den Messungen von KIT-INE im Sub-ppq-Konzentrationsbereich in den Feldexperimenten.

Durchführung weiterer langzeitsicherheitsanalytischer Rechnungen für ein Endlager in Granit. Untersuchung der Auswirkungen einer Bentonitkolloid-Remobilisierung für unterschiedliche Sorptionsraten der Radionuklide an/von den Kolloiden.

AP3: Diskussion aller Ergebnisse sowie Planung und Festlegung der zukünftigen Arbeiten auf dem Kolorado-Arbeitstreffen in Berlin. Vorstellung von Ergebnissen der Modellrechnungen auf dem CFM-Modeller Meeting in San Francisco Beginn der Dokumentation aller Arbeiten für den Abschlussbericht.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Abschluss und Dokumentation der Rechnungen zum Radionuklidverhalten im Langzeit-Tailing der Durchbruchkurven für CFM RUN 12-02.

Dokumentation aller Arbeiten zu den langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen für ein Endlager in Granit mit POSIVA. Diskussion des Einflusses der Kolloide auf die Langzeitsicherheit. Veröffentlichung im Abschlussbericht.

AP3: Fertigstellung des Abschlussberichts. Veröffentlichung des Modeller-Reports mit den Arbeiten der Modellierergruppen aus Schweden, USA und Deutschland als NAGRA Technical Report.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Beitrag zu: Reiche, T.; Noseck, U.; Schäfer, Th. (2016): Migration of Contaminants in Fractured-Porous Media in the Presence of Colloids: Effects of Kinetic Interactions. Transport in Porous Media., Volume 111, Issue 1, pp 143-170.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11203B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Kristallin		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2013 bis 29.02.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.030.253,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schäfer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Der Kenntnisstand zur Kolloidproblematik, speziell zur Prognostizierbarkeit des Kolloidquellterms, der Kolloidstabilität und Kolloid- Mineraloberflächen- Wechselwirkung unter Einbezug der Oberflächenrauigkeit hat in den letzten Jahren nicht zuletzt durch das Vorgängerprojekt KOLLORADO-2 sehr große Fortschritte gemacht. Neben der Beschreibung der Kolloidstabilität mittels elektrostatischer Ansätze sind quantitative Daten zur Erosion der Bentonitbarriere generiert worden. Alle Daten zum kolloidgetragenen Radionuklidtransport weisen auf eine starke Abhängigkeit der Kolloidmobilität von der Kluftgeometrie/Oberflächenrauigkeit hin, wobei die vollständige Dissoziation vierwertige Actinide von der Tonkolloidoberfläche nach wie vor eine offene Fragestellung ist. Hauptziel des Anschlussvorhabens ist es weiterhin, das mechanistische Verständnis der Erosion des kompaktierten Bentonits und der Radionuklid-Kolloid Wechselwirkungen unter naturnahen Bedingungen zu verbessern und die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation zu bewerten. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz erarbeitet. Der Beitrag des INE, auf den sich der vorliegende Bericht bezieht, konzentriert sich auf experimentelle Arbeiten im Labor und im Untertagelabor Grimsel sowie die begleitende Erstellung hydraulischer und kleinskalig reaktiver Transport- Modelle. Diese INE Arbeiten sind auch in das EU-Projekt CP BelBaR eingebunden (www.belbar.eu). Die Arbeiten der GRS fokussieren auf die Weiterentwicklung und Anwendung von Rechenprogrammen für die Langzeitsicherheitsanalyse.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelles Programm zum kolloidgetragenen RN-Transport (INE)
- AP1.1: Mechanismen der Kolloid-Radionuklid- Kluftmineral Wechselwirkung (INE)
- AP1.2: Kolloidgetragene Radionuklid-Migration (INE)
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Simulationsrechnungen für weitere CFM-Homolog/Radionuklid-Experimente (GRS)
- AP2.2: Simulationsrechnungen für das integrierte CFM Experiment (GRS)
- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen Radionuklidtransports (GRS)
- AP2.4: Numerische Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE/GRS)
- AP3: Integration der Ergebnisse (Abschlussbericht; Executive Summary) (GRS/INE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: *Status:*

Ein weiteres Bentonit- Erosionsexperiment wurde vorbereitet. Es handelt sich hierbei um ein Vergleichsexperiment zum Long-term In-situ-Test (LIT), der derzeit im Untertagelabor Grimsel stattfindet (Mock-up Plexiglas-Test mit 1 mm Apparatur). Ziel dieses Experiments ist es, einen direkten Vergleich über die Auswirkungen einer komplexen Kluftgeometrie auf die Erosionsraten zu bekommen. Dazu wird eine Original LIT-Probe (90 % Febex Bentonit und 10 % synth. Zn- Montmorillonit) verwendet. Tracervials, die mit denen im LIT verbauten identisch sind, werden in diese Probe eingesetzt. Um die Versuchsbedingungen möglichst nah an denen im Feld zu

halten, wird der Versuch unter anoxischen Bedingungen in einer Argon-Handschuhbox installiert und die künstliche Kluft kontinuierlich mit Grundwasser aus dem Untertagelabor durchströmt.

Des Weiteren wurden in situ elektronenmikroskopische Untersuchungen an Bentonit Aggregaten bei variablen relativen Luftfeuchtigkeiten zwischen 15 % und 95 % fortgesetzt und auf andere Bentonite erweitert. Diese Untersuchungen dienen der Ermittlung der anisotropen Quellung des Bentonits.

Weiterhin sind kinetische Studien (> 100 Tage) der Radionuklid- Reversibilität an Kluftfüllmaterial des Grimsel Granodiorits für die Einzelelemente Am, Np, Pu und Tc sowie im Radionuklidcocktail (Am, Np, Pu, Tc) mit Uran durchgeführt worden. Verteilungskoeffizienten und Desorptionsraten konnten für die bisherigen Proben ermittelt werden und dienen zum Vergleich der Desorptionskinetik, die aus AMS- Messungen im Tailing von Run 12-02 & 13-05 auch direkt für Felslabordaten zur Verfügung stehen.

Letzte, ergänzende Versuche zum Transport von monodispersen Latexkolloiden in Fließzellen wurden durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse des gesamten Versuchsprogramms zeigen den Einfluss von Oberflächenrauigkeit auf die Partikelretention im Falle der 25nm Partikel sowie den dominierenden Einfluss der Gravitation auf die Retention der 1000nm Partikel. Die Ergebnisse wurden in einem Manuskript zusammengestellt, welches zu Beginn von 2016 in einem *peer-reviewed* Journal eingereicht werden soll.

AP1.2: *Status:*

Schwerpunkt der Arbeiten im 2. Halbjahr 2015 lag weiterhin auf der begleitenden Analytik und Interpretation erster Proben des „Long term In-situ-Test (LIT)“.

- Regelmäßige Probenahmen durch einen in einer Inertgas-Handschuhbox installierten Autosampler sind am INE auf den konservativen Tracer (Amino-G), die Wasserchemie und Radionuklid- Konzentrationen untersucht worden. Amino-G zeigt weiterhin einen kontinuierlichen Anstieg der Konzentration und somit einen direkten Kontakt der RN-markierten Probenials mit der Scherzone. RN Daten zeigen erste Signale von ⁹⁹Tc und AMS Messungen erste Signale von Am-241.
- Die Auswertung des Radionuklidexperiments Run 13-05 bezüglich der Kolloidmessungen via s- Kurven LIBD sind abgeschlossen. Weitere Proben aus dem Tailing der Durchbruchkurve des Run 13-05 zur Analyse mittels AMS an VERA (Vienna Environmental Research Accelerator) sind analysiert und werden zurzeit ausgewertet.

AP2.4: *Status:*

Die numerische Simulation der 2D-Strömungs- und Transportprozesse der oben aufgeführten Fließzellenexperimente wurden fortgeführt und konnten weitestgehend abgeschlossen werden. Die Ergebnisse des Modells verifizieren qualitativ die gemessenen Durchbruchkurven und erlauben ein mechanistisches Verständnis der dominierenden Kolloid-Transport- und Retentionsprozessen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1 & 2: Die geplanten Arbeiten sind im KOLLORADO-e² Antrag ausführlich dargelegt und das neue Laborprogramm ist mit GRS abgestimmt. Schwerpunkt des nächsten ½a wird neben den laufenden Laborversuchen und Modellierungen vor allem die Probenahme, chemische Charakterisierung und Kolloiddetektion im Rahmen des LIT im Felslabor Grimsel sein. Weiterhin ist ein Kolloid- Stimulationstest im 13-05 Dipol geplant.

AP3: Für KOLLORADO-e wird weiterhin auf Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften mit peer-review Verfahren fokussiert (siehe Berichte & Veröffentlichungen).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Peer-reviewed eingereicht bzw. in Bearbeitung:

Quinto, Golser, Lagos, Plaschke, Schäfer, Steier, Geckeis (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.

Norrfors, Bouby, Heck, Finck, Marsac, Schäfer, Geckeis, Wold (2015): “Montmorillonite colloids: I. Characterization and stability of dispersions with different size fractions.” *Appl. Clay Sci.* 114, 179-189.

Norrfors, K. K.; Marsac, R.; Bouby, M.; Heck, S.; Wold, S.; Lützenkirchen, J.; Schäfer, T. (2016, in press) “Montmorillonite colloids: II. Colloidal size dependency on radionuclide adsorption”. *Appl. Clay Sci.* (doi:10.1016/j.clay.2016.01.017)

Reiche, Noseck, Blechschmidt, Schäfer (2016) „Migration of contaminants in fractured-porous media in the presence of colloids: effects of kinetic interactions” *Transport in Porous Media.* 111:143–170.

Friedrich, Schild; Weidler, Schäfer (2016, in press) “Hydration of FEBEX bentonite observed by environmental scanning electron microscopy (ESEM)” CMS lecture series.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11213
Vorhabensbezeichnung: Qualifizierung der Rechenprogramme d ³ f und r ³ t, Kurztitel Quader	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3, Wirtsgestein: unabhängig	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2013 bis 29.02.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 732.700,00 EUR	Projektleiter: Schneider

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit den Programmpaketen d³f und r³t stehen Werkzeuge zur Modellierung der dichteabhängigen Grundwasserströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien (Projekte GRUPRO bzw. TRAPRO) mit expliziter Berücksichtigung von Wärmetransport, Klüften und Kluftsystemen zur Verfügung (E-DuR). Mehrskalensätze ermöglichen ihre Anwendung auf dichte geklüftet-poröse Gesteine großer geologischer Formationen (A-DuR). Ziele eines aktuellen Projektes sind eine deutliche Beschleunigung und verbesserte Handhabung von d³f und r³t, ein verbesserter Umgang mit Ungewissheiten sowie die Integration zu einem einheitlichen Werkzeug (H-DuR).

Ziel dieses Projektes ist die Modellierung von Grundwasserströmung und Schadstofftransport für verschiedene reale geologische Situationen und damit die Erhöhung des Vertrauens in die Modellierung großräumiger, heterogener Modellgebiete. Zur Anwendung und Überprüfung der Neuentwicklungen aus dem Projekt E-DuR sollen Modelle mit expliziter Berücksichtigung von Klüften und des Wärmetransportes, Problemstellungen mit freier Oberfläche und Rechnungen mit r³t, gekoppelt mit PhreeqC bearbeitet werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

- AP1: Strömung und Transport im Kluftgestein
- AP2: Wärmetransport
- AP3: Freie Grundwasseroberfläche
- AP4: Modellierung des reaktiven Stofftransportes mit r³t
- AP5: Dokumentation
- AP6: Modellerstellung und Fehlerbehebung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Zusammenarbeit mit der TF GWFTS wurde fortgesetzt:
Die nunmehr zur Verfügung stehende Option zur Darstellung von Geschwindigkeitsfeldern erlaubte eine tiefergehende Auswertung der Modellergebnisse insbesondere zu Task 8e (Prototype Repository). Dadurch konnten spezielle Effekte sichtbar gemacht werden, die im Zusammenhang mit starkleitfähigen Klüften im Strömungsgebiet auftreten.
Task 9 wurde weiter beobachtet, um den Anschluss an die laufenden Arbeiten zu behalten. Auf dem Treffen der Task Force on Groundwater and Transport of Solutes im Oktober in Kalmar wurden Ergebnisse zur Subtask 9a vorgestellt. Task 9a soll auf dem nächsten Treffen abgeschlossen werden. Der Fahrplan der Task Force sieht vor, dass nun mit Task 9b begonnen wird.
- AP3: Aus den von SNL erhaltenen Daten wurden 3D-Modelle der WIPP-Site aufgebaut, bei denen 6 bzw. 10 hydrogeologische Einheiten unterschieden wurden. Rechnungen des 6-Schichten-Modells wurden zunächst mit einem Tetraedergitter, dann mit einem Prismengitter durchgeführt. Erste Berechnungsergebnisse mit fester Grundwasseroberfläche wurden am 9.9. auf dem Deutsch-Amerikanischen Workshop in Dresden sowie dem Workshop Storage in Deep Layers der Conference on Modeling Natural Barriers am 28.9. in Bad Wildbad vorgestellt.
- AP6: Der Aufbau der Modellgeometrie auf Basis von Rasterdaten mit Hilfe des Programms ProMesh wurde automatisiert. Ein Generator für Prismengitter und die Möglichkeit anisotroper Gitterverfeinerungen wurden implementiert. Werkzeuge für die Angabe von Anfangs- und Randbedingungen, insbesondere der freien Grundwasseroberfläche, wurden fertiggestellt. Die Lösungsverfahren wurden angepasst.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

- AP1: Abschluss der Arbeiten an Task 9a
 AP3: Das Model der WIPP-Site wird mit freier Grundwasseroberfläche gerechnet.
 AP4: Durchführung der Rechnungen zum reaktiven Stofftransport für den Testfall Cape Cod und der Rechnungen zum Testfall aus dem Projekt Weimar
 AP5: Der Projektabschlussbericht wird fertiggestellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11243	
Vorhabensbezeichnung: Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborative und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Rekompaktionsverhalten der EDZ (LASA-EDZ)			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2013 bis 31.12.2016		Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 979.523,00 EUR		Projektleiter: Dr. Czaikowski	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens LASA-EDZ besteht in der gezielten Bereitstellung von Labordaten für die hydro-mechanisch gekoppelte modelltheoretische Analyse des Langzeitdichtvermögens der Auflockerungszone. Hierzu sind die notwendigen Kenntnisse und Daten zum geomechanischen und geohydraulischen Materialverhalten auf der Grundlage von laborativen Untersuchungen zu ermitteln und im Hinblick auf einen fundierten Nachweis der Langzeitdichtfunktion für ein Endlager in Salzformationen zur Verfügung zu stellen. Das Gesamtziel des Vorhabens wird durch unterschiedliche Projektbeiträge erreicht:

- Laboruntersuchungen zum Langzeitverhalten der EDZ für verschiedene Belastungsszenarien (z. B. trockene Rekompaktion sowie Rekompaktion bei flüssigkeitsgefülltem Porenraum).
- Prozessanalytische Modellrechnungen zur Validierung der THM gekoppelten Stoffmodelle und zur Verbesserung des Verständnisses der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Prozesse im Bereich der Auflockerungszone.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Untersuchungen zur Gasdurchlässigkeit im Autoklav (IST-Zustand der Proben), Ermittlung der Beziehung zwischen der Gasdurchlässigkeit und Minimalspannung während der Belastung in triaxialen Rekompaktionsversuchen, Ermittlung des Langzeitverhaltens der (trockenen/teilgesättigten) Steinsalzproben, bei Lösungszufluss (drainiert) und unter Lösungsdruck (undrainiert).
- AP2: Prozessanalytische Modellierung: Identifikation der bei Entnahme des Kernmaterials an der Entnahmelokation vorliegender Gebirgsbeanspruchungen, Auswahl geeigneter Stoffmodelle und Bestimmung der Stoffparameter für das HM-Verhalten der Auflockerungszone, Nachprüfung der Anwendbarkeit der bestehenden Salzmodelle bei Rekompaktion unter Feuchteinfluss, Bestimmung der Stoffparameter aus den GRS-Laborversuchen, Kalibrierung und Validierung der ausgewählten Stoffmodelle durch Simulation typischer Laborversuche.
- AP3: Ergebniszusammenführung und Berichterstattung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zur Ermittlung des Langzeitverhaltens der EDZ und der Kontaktfuge in Abhängigkeit von der Minimalspannung bei Lösungszufluss wurden radial gelochte Steinsalzprüfkörper verwendet, die im Inneren Salzbetonkerne enthalten.

Im 1. Halbjahr wurden zwei Versuche mit in dieser Art kombinierten Prüfkörpern parallel durchgeführt und ausgewertet. Der kombinierte Prüfkörper mit dem ungeschädigten Salzbetonkern zeigte im Ausgangszustand bei einer Minimalspannung von 1 MPa eine Laugenpermeabilität im Bereich von 10^{-15} m^2 . Mit steigender Minimalspannung zeichnete sich eine deutliche Abnahme der Permeabilität um mehrere Größenordnungen ab. Bei einer Minimalspannung von 5 MPa wurde der Messbereich von 10^{-20} m^2 unterschritten.

Im Gegensatz dazu zeigte der kombinierte Prüfkörper mit dem vorgeschädigten Salzbetonkern eine mit der Minimalspannung um zwei Größenordnungen abnehmende Laugenpermeabilität im Bereich von 10^{-13} m^2 auf 10^{-15} m^2 . Bei einer konstanten Minimalspannung von 5 MPa wurden dann im (mehr)wöchentlichen Abstand weitere Messungen durchgeführt. Nach einer Dauer von vier Wochen konnte keine weitere Reduzierung der Permeabilität gemessen werden. Daraufhin wurde die Minimalspannung stufenweise auf einen Wert von 10 MPa erhöht und jeweils die Laugenpermeabilität bestimmt. Unmittelbar mit der Lasterhöhung nahm die Permeabilität auf einen Bereich von 10^{-16} m^2 ab. Bei einer konstanten Minimalspannung von 10 MPa wurden im (mehr)wöchentlichen Abstand weitere Messungen durchgeführt und eine mit der Zeit weiterhin abnehmende Permeabilität bis in den Bereich von 10^{-18} m^2 beobachtet.

Bislang wurde davon ausgegangen, dass dieser Prozess (Erhöhung der Minimalspannung) auf das viskose Materialverhalten des Steinsalzes zurückgeführt werden kann. Die Kontaktfuge wird damit geschlossen und die integral über die kombinierte Probe gemessene Laugendurchlässigkeit reduziert.

Allerdings wurde dann im 2. Halbjahr bei der Präparation von kombinierten Probekörper für das parallel laufende Forschungsvorhaben LAVA-II ein weiterer gelochter Salzprüfkörper mit Salzbetonkern ohne Vorschädigung im Autoklaven bei sehr geringen Minimalspannungen von 1 MPa mit gesättigter Salzlauge beaufschlagt und die Laugenpermeabilität bestimmt. Bei einer sehr geringen konstanten Minimalspannung von 1 MPa wurden im (mehr)wöchentlichen Abstand weitere Messungen durchgeführt und eine mit der Zeit weiterhin abnehmende Permeabilität bis in den Bereich von 10^{-18} m^2 beobachtet.

Derzeit kann auf Basis der durchgeführten Versuche nicht eindeutig belegt werden, ob der vorherrschende Prozess, der zur Reduzierung der Permeabilität führt, durch die Wechselwirkungen mit der gesättigten Salzlösung zu erklären ist, so dass die Minimalspannung in diesem Fall eher eine untergeordnete Rolle spielt. Dazu sind im 1. HJ. 2016 gezielte Versuche vorgesehen, die auch im Hinblick auf die modelltheoretischen Untersuchungen Auskunft über die dominierenden Prozesse geben sollen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung experimenteller Untersuchungen
- Durchführung modelltheoretischer Untersuchungen, Vergleich mit Literaturdaten
- Dokumentation

5. Berichte, Veröffentlichungen

Czaikowski, O.; Wieczorek, K.; Hertel, U.: Sealing capacity of a seal system in rock salt – Hydraulic impact of the EDZ long-term evolution. American Rock Mechanics Association (ARMA 2015), 28.06 – 01.07.2015, San Francisco, CA, USA.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11253
Vorhabensbezeichnung: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung – Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2013 bis 31.12.2015	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 296.744,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Langefeld	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Untersuchungen sollen für Verschlusskonzepte im Bereich der Endlagerung für radioaktive, wärmeentwickelnde Abfälle (HAW) im Steinsalz durchgeführt werden, um die Methodik des Integritätsnachweises zu bereits vorliegenden Konzepten von Verschlussbauwerken durch geeignete In-situ-Testverfahren zu ergänzen. Dabei sollen die Testverfahren als Bausteine im Rahmen eines Integritätsnachweises einzelner Bauwerke zu verstehen sein, der Teil eines gesamten Langzeitsicherheitsnachweises ist.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sollen allgemeingültig auf jedwedes Endlager für HAW im Steinsalz nutzbar sein. Dabei wird auch darauf Augenmerk gelegt, dass die Endlagersicherheitsforschung derzeit einer der Themenbereiche ist, welche seitens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie gefördert wird.

Innerhalb des Abschnittes „Geotechnische Barrieren“ ordnet sich das geplante Vorhaben in folgende Schwerpunkte des Förderkonzeptes ein:

- Konzeption, Bau und Erprobung langzeitsicherer Abschlussbauwerke bzw. deren Komponenten für Endlager im Steinsalz
- Entwicklung von Konzepten für Verschlussysteme im Bereich der Kontakt- und Auflockerungszone mit Nachweis der Barrierewirkung
- Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereichs
- Ingenieurtechnischer Nachweis der Langzeit-Barrierewirkung der geotechnischen Barrieren“

Weiter berühren die durchzuführenden Arbeiten den Themenbereich Systemverhalten und Systembeschreibung (6.2.) Abschnitt Wirtsgestein:

- Untersuchung und Modellierung des geomechanischen, geochemischen und thermohydromechanischen von Steinsalz und Tonsteinen

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Übersicht Verschlusskonzepte
- AP2: Formulierung der Anforderungen
- AP3: Katalog der Vergütungsmedien
- AP4: Strömungstechnische, chemische und rheologische Charakterisierung
- AP5: Berichtslegung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Während des Berichtszeitraums wurden die rheologischen Untersuchungen zur laborativen Charakterisierung abgeschlossen. Hierbei wurden für die zu untersuchenden Injektionsmittel die folgenden rheologischen Eigenschaften ermittelt: Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung, die Benetzungswinkel der Flüssigkeiten im Kontakt mit Steinsalz sowie Marshzeiten. Zudem wurden an den im vorherigen Berichtszeitraum injizierten Sandsteinblöcken wurden Quecksilberdruckporosimetrie Messungen durchgeführt um den Injektionserfolg erfassen zu können.

Neben den im Rahmen der laborativen Charakterisierung durchgeführten Messungen wurden aus den im vorherigen Berichtszeitraum untertage entnommenen Salzbohrkernen Probenkörper hergestellt die zur einen Hälfte aus Salz- oder Magnesiabeton und zur anderen Hälfte aus Steinsalz bestehen. Im Spaltzugversuch wurden diese Probenkörper anschließend geschädigt, damit es im Kontaktbereich beider Materialien zur Bildung eines Spalts kommt, der anschließend injiziert werden konnte.

Neben den oben genannten im Rahmen des Arbeitspakets 4 durchgeführten Arbeiten wurde eine vorläufige Version des Abschlussberichtes fertiggestellt, die nachfolgend noch redaktionellen Tätigkeiten unterzogen wird. Zur Durchführung der redaktionellen Tätigkeiten wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis zum 31.03.2016 beantragt.

Während des Berichtszeitraums fanden mehrere Telefonkonferenzen zur Vorstellung von Versuchsergebnissen sowie zur weiteren Abstimmung des Vorgehens statt. Zudem wurde am 04. November im Rahmen einer Projektbesprechung in Peine die für den Abschlussbericht verfügbaren Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Quartal des Jahres 2016 werden noch redaktionelle Tätigkeiten am Projektbericht durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 11263
Vorhabensbezeichnung: Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Schachttransport schwerer Lasten bis zu 175 Tonnen Nutzlast (SULa)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.2, Wirtsgestein: Salz, Ton, Kristallin	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2013 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 228.114,00 EUR	Projektleiter: Filbert

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des Vorhabens ist es, die Grundlage zum Nachweis der technischen Realisierbarkeit einer Schachtförderanlage mit 175 t Nutzlast (Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern, TLB) einschließlich der wesentlichen maschinen- und bergtechnischen Komponenten und Anlagenteile zu schaffen sowie die Grundlagen zu legen, zum Nachweis der Sicherheit des Transportbetriebes, insbesondere unter dem Aspekt des Strahlenschutzes. Die Genehmigungsfähigkeit der Endlagerung von radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in TLB (z. B. vom Typ CASTOR[®]) bedingt den Nachweis, dass alle Komponenten des Schachttransportes für Nutzlasten von bis zu 175 t und die entsprechenden Überlasten dem Stand der Technik entsprechen. In dem vorliegenden Vorhaben soll die wirtsgesteinsunabhängige Einsetzbarkeit der zu entwickelnden Schachtfördertechnik bis zu einer max. Teufe von 1.000 m nachvollziehbar dargestellt werden. Weiterhin werden die zu erwartenden Auswirkungen der Einlagerung von TLB in Ton- bzw. Granitformationen, z. B. hinsichtlich erforderlicher Zwischenlagerzeiten, bewertend beschrieben. Im Rahmen dieses Vorhabens soll der Stand der Technik bei der Durchführung von Störfallanalysen (deterministisch/probabilistisch) unter besonderer Berücksichtigung der Restrisikominimierung ermittelt werden. Dazu sollen die Fortentwicklung der Probabilistischen Sicherheitsanalyse seit 1994, die Übertragbarkeit der Methoden zur PSA für Kernkraftwerke auf die Schachtförderanlage, ein deterministischer Ansatz, internationale Entwicklungen und Maßnahmen zur Restrisikominimierung untersucht werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Differenzbetrachtung probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA): 1994 vs 2013
- AP2: Übertragbarkeit der Methoden zur PSA für Kernkraftwerke auf Schachtförderanlagen
- AP3: Bewertung eines deterministischen Ansatzes zur Störfallanalyse
- AP4: Internationale Entwicklungen bei Sicherheitsanalysen zur Schachttransporttechnik
- AP5: Maßnahmen zur Restrisikominimierung
- AP6: Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde die Auswertung der Berichte zum Vorhaben "Fortschrittliche Methoden und Werkzeuge für probabilistische Sicherheitsanalysen" (FKZ: RS1198) abgeschlossen und der AP2-Bericht entsprechend überarbeitet.

Weiterhin wurden im Rahmen des AP4 die internationalen Entwicklungen bei Sicherheitsanalysen zur Schachtfördertechnik ausgewertet. Für die Auswertung wurden grundsätzliche Entwicklungen aus Frankreich, Belgien und den USA berücksichtigt. Da die Anzahl der Endlager in tiefen geologischen Formationen im Betrieb oder in einer fortgeschrittenen Auslegungsphase noch sehr gering ist, steht bisher noch kein international anerkannter Ansatz zur Betriebssicherheitsbewertung dieser Nuklearanlagen zur Verfügung. Die existierenden Ansätze zur Betriebssicherheitsbewertung basieren grundsätzlich auf den für die Kernkraftwerke (KKW) entwickelten Methoden und umfassen normalerweise deterministische und probabilistische Sicherheitsanalysen. Aus diesem Grund wurden insbesondere die im Rahmen der Betriebssicherheitsbewertungen der WIPP und des möglichen Yucca Mountain Endlagers verwendeten deterministischen und probabilistischen Ansätze berücksichtigt.

Im Rahmen der Sicherheitsbewertung des Endlagerbergwerkes wird der Betrieb der Schachtförderanlage für den Endlagergebindertransport als einer der wichtigsten Betriebsvorgänge eines Endlagers berücksichtigt. Hierbei kann ein Absturz des Förderkorbes während des Transportes eines Abfallgebindes zu einer Freisetzung von radioaktivem Material führen. Es ist festzustellen, dass nach den in Deutschland und den USA durchgeführten Untersuchungen die Eintrittshäufigkeiten einer Freisetzung von radioaktivem Material aufgrund eines Störfalles der Schachtförderanlage niedriger sind als die Referenzeintrittshäufigkeiten unerwünschter sicherheitsrelevanter Ereignisse anderer Nuklearanlagen.

Ein international akzeptierter Ansatz zur Betriebssicherheitsbewertung der Endlager in tiefen geologischen Formationen, wie z. B. die existierenden Ansätze zur Langzeitsicherheitsbewertung der Endlager oder wie die zu deterministischen und probabilistischen Sicherheitsanalysen der KKW, liegt noch nicht vor. Eine internationale Abstimmung bezüglich eines allgemein akzeptierten Ansatzes wäre ein relevanter Meilenstein für die künftige Entwicklung der Methoden und Werkzeuge zur Betriebssicherheitsbewertung eines Endlagers. Dadurch würde der Erfahrungsaustausch zwischen den Betreibern, Planern etc. deutlich intensiviert.

Anhand der aktuellen Konzeptplanungen einer Schachtförderanlage mit 175 t Nutzlast wurden potentielle Maßnahmen zur Restrisikominimierung bewertet. Der Untersuchung wurde als Referenzkonzept die von DBE TEC im Rahmen eines GNS-Auftrages ausgelegte Schachtförderanlage für die Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern und ihre Betriebsabläufe zugrunde gelegt. Neben den bisher in Deutschland vorgesehenen Maßnahmen zur Schadensvorsorge wurde z. B. zur Minimierung der Wahrscheinlichkeit des Verlusts der Integrität des Abfallgebindes bei einem Absturz des Abfallgebindes bzw. des Förderkorbes in den Schacht der potentielle Einbau von Dämpfungselementen am Schachtboden untersucht. Diese Maßnahme wurde auch im Rahmen der Betriebssicherheitsbewertung des finnischen Endlagers von POSIVA berücksichtigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im 1. Halbjahr (2016) werden die Berichte zum AP2 und AP4 der GRS zur Stellungnahme vorgelegt und der Abschlussbericht erstellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Gasull, R., Filbert, W. "Probabilistic and deterministic safety assessment approach for shaft hoisting systems". 6th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operation. Dresden (Germany), 2015.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11284
Vorhabensbezeichnung: Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Ton, Kristallin	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2014 bis 30.06.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 627.100,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kröhn

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Dampfdiffusionsmodell stellt die Sorptionsisotherme für Bentonit, die den empirischen Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt widerspiegelt, eine zentrale Zustandsgleichung dar. Bei der Beschreibung der Isotherme existieren zurzeit noch einige Unklarheiten. Dies betrifft vor allem den Temperatureinfluss auf die Isotherme, der in einem realen Buffersystem dadurch von Bedeutung ist, dass die Wiederaufsättigung in der thermischen Phase der Entwicklung eines Endlagers erfolgt. Die Wärmeentwicklung bewirkt im Inneren des Buffers auch ohne Wasseraufnahme von außen eine erhebliche Feuchtigkeitsumlagerung. Ferner ist noch unklar, welchen Einfluss die Hysterese zwischen Auf- und Entsättigung auf den Prozess der Wiederaufsättigung hat.

Diese Unklarheiten sollen durch Untersuchungen des Feuchteaufnahmevermögens unter Temperatureinfluss an tonhaltigen Dicht-/Versatzmaterialien, die noch genauer festzulegen sind (z. B. Calcigel, MX80, Febex-Material), beseitigt werden. Die ermittelten Ansätze für die Sorptionsisothermen werden im Code VIPER implementiert und deren Einsatzfähigkeit durch Modellrechnungen bestätigt.

Parallel dazu wird eine Rechenfallbibliothek einschließlich Dokumentation erstellt. Damit können nicht nur neue Programmversionen auch anhand älterer Modelle getestet werden. Vor allem erfolgt damit eine Überprüfung der älteren Modelle vor dem Hintergrund des im Laufe der Zeit stetig verbesserten und erweiterten Modellkonzepts.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP1: Bestimmung von temperaturabhängigen Sorptionsisothermen
- AP2: Modellrechnungen mit neuen Sorptionsisothermen
- AP3: Erstellung einer systematischen Rechenfallbibliothek
- AP4: Erstellung des Abschlussberichts

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auch im Hauptversuch konvergieren die Wassergehalte langsamer als die Luftfeuchtigkeiten. Der Test mit der höchsten Luftfeuchtigkeit (98 %, Exsikkator 10) hatte die Gewichtskonstanz auch nach 9 Monaten noch nicht erreicht. Bei den Tests, bei denen die Luftfeuchtigkeiten von 36 % und 54 % eingestellt werden sollten (Exsikkatoren 3 und 5), waren anfangs versehentlich falsche Lösungen verwendet worden, die zu viel zu hohen Luftfeuchtigkeiten führten. Dies wurde nach ca. 5 Wochen zwar korrigiert, es zeigte sich aber, dass der sich danach einstellende Gleichgewichtswassergehalt der Proben in beiden Fällen deutlich über dem Trend lag, der durch die übrigen Proben erkennbar wurde. Anscheinend hatten die Proben unter dem Einfluss der zu hohen Luftfeuchtigkeiten den Gleichgewichtswassergehalt für den Adsorptionspfad bereits überschritten und zeigten dadurch das Ergebnis für eine Desorption.

Auf dem Workshop der Task Force EBS in Barcelona, der im Rahmen des Projekts WiGru-7 (FKZ 02 E 11102) besucht worden war, wurden Messungen von Adsorptionsisothermen von Bentonit vorgestellt, die sowohl präzise als auch relativ schnell durchgeführt werden konnten. Sie basieren auf einem professionellen Gerät zur Feuchtebestimmung an kleinen Proben. Diese kleinen Proben befanden sich in ca. 4 cm durchmessenden und 7 mm hohen speziell angefertigten Metallzellen. Das an der EPFL in Lausanne verwendete Gerät lässt sich jedoch ausschließlich bei Raumtemperatur betreiben. Eine Recherche ergab, dass im Juni 2015 ein Feuchtemessgerät für einen Temperaturbereich bis zu 60 °C auf den Markt gekommen ist. Zwar lassen sich die mit den Exsikkatoren gemessenen Wassergehalte in Prozent angeben und auf die erste Nachkommastelle genau bestimmen, aber der dafür erforderliche Zeitaufwand ist recht hoch und ließe sich im Temperaturbereich des Messgeräts erheblich verringern. Beim Besuch der Clay Conference in Brüssel wurden 2 Poster präsentiert; zum einen über das Konzeptmodell der GRS zur Bentonitaufsättigung, zum anderen über die mathematische Ähnlichkeit des Dampfdiffusionsmodells der GRS mit der Hydraulik der ungesättigten Strömung in den klassischen THM-Modellen. Über letzteres Thema wurde auch ein Artikel eingereicht: Kröhn, K.-P.: Bentonite re-saturation: Different conceptual models - similar mathematical descriptions. FKZ 02 E 11284 (BMW), The Geological Society, Special Issue, (under review)

4. Geplante Weiterarbeiten

Um den Versuch voranzubringen, werden die Exsikkatoren 3, 5 und 10 aus dem Wärmeschrank entnommen. Während die übrigen Proben nun auf eine Temperatur von 60 °C gebracht werden sollen, wird Exsikkator 10 weiter bei Raumtemperatur betrieben. Die Exsikkatoren 3 und 5 werden mit frischem Material bestückt und ebenfalls bei Raumtemperatur betrieben, um die Lücke in den Daten für die Isotherme bei Raumtemperatur zu schließen. Je nach Datenlage werden diese drei Exsikkatoren später wieder in den Wärmeschrank bei 60 °C oder bei 90 °C zurückgestellt.

Begleitend zu dem bei der Clay Conference entstandenen Paper wird auch ein ausführlicher GRS-Bericht zu diesem Thema vorbereitet.

Die Arbeiten am Code VIPER bezüglich der Verarbeitung von Daten für die Desorption bei einer Entsättigung werden fortgesetzt. Parallel dazu soll versucht werden, das VIPER unterliegende mathematische Modell auf COMSOL zu übertragen, um mehrdimensionale Rechnungen zu ermöglichen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11294
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen (ERNESTA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Feld 3.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2014 bis 31.01.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 765.469,00 EUR	Projektleiter: Herold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des Vorhabens ERNESTA ist es, die technische Umsetzung von Rückholungskonzepten weiter zu konkretisieren, sicherheitstechnische Konsequenzen und Auswirkungen der Sicherheitsanforderung „Rückholbarkeit“ auf die Endlagerauslegung weiter vertieft zu untersuchen und die Auswirkungen hinsichtlich Aufwand und Zeitbedarf aufzuzeigen. Die Planungen sollen Grundlagen für eine genehmigungsreife technische Lösung liefern.

In Deutschland ist die Möglichkeit zur Rückholung als Auslegungsanforderung an ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente seit dem Jahr 2010 in den Sicherheitsanforderungen des BMU. Die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen ist Genehmigungsvoraussetzung für die Inbetriebnahme des Endlagers. Innerhalb des Vorhabens sollen zunächst allgemeine Fragestellungen zur Umsetzung und Implementierung der Rückholungsforderung für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente beantwortet werden. Im Anschluss erfolgt eine Weiterentwicklung und vertiefende Planung für eine mögliche Rückholung von Endlagerbehältern für das Konzept der Strecken- und Bohrlochlagerung im Salz- und Tongestein. Darüber hinaus werden Arbeitsprogramme zur Realisierung des Nachweises der technischen Machbarkeit für die relevanten Komponenten der Rückholungskonzepte erarbeitet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeptübergreifende Fragestellungen und grundlegende Untersuchungen
- AP2: Planung von Rückholungskonzepten bei der Endlagerung im Salzgestein
- AP3: Planung von Rückholungskonzepten bei der Endlagerung im Tongestein
- AP4: Erarbeitung eines Umsetzungsplanes zur Durchführung möglicher Demonstrationsversuche
- AP5: Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die Klimavorausberechnungen wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen. Es zeigte sich, dass trotz zusätzlicher Kühlung während des Rückholungsbetriebes nicht in allen Grubenteilen die zulässigen Grenztemperaturen eingehalten werden können. Die thermische Optimierung der Endlagerauslegung hat zu einer vollständigen Ausnutzung der Auslegungstemperatur von 200 °C in fast allen Einlagerungsfeldern geführt. Die Temperaturmaxima fallen zeitlich mit dem angenommenen Rückholungszeitraum zusammen und liegen auch räumlich innerhalb des geplanten Grubengebäudes. Zusätzliche thermo-mechanische Berechnungen zur Untersuchung der Hohlraumstabilität der Rückholungsstrecken untermauern diese Erkenntnisse. Der hohe Wärmeeintrag führt zu Vertikalverschiebungen der Behälter um mehrere Dezimeter und beeinträchtigt die Standfestigkeit der Hohlräume.

Es wurde ein Anforderungskatalog für eine modifizierte Einlagerungsvorrichtung erarbeitet und eine Fachfirma beauftragt, eine Machbarkeitsstudie zu erarbeiten. Diese beinhaltet eine Grobauslegung des Tragrahmens, der Komponenten zum Greifen des POLLUX®-Behälters, des Kettenfahrwerks, der Hydraulikanlage und des Plateauwagens.

AP2: Analog zur Streckenlagerung wurde auch für die Einlagerungsvariante in tiefe Bohrlöcher das bisherige Rückholungskonzept weiter vertieft. Dies beinhaltet die detaillierte Ausarbeitung der notwendigen Betriebsabläufe, des notwendigen Grubengebäudes und eine Klimavorausberechnung. Die Rückholung entspricht im Wesentlichen einer Umkehrung des Einlagerungsvorganges und kann mit der Einlagerungstechnik realisiert werden. Größte technische Herausforderung ist das Entfernen des Bohrlochversatzes, unter den extremen Bedingungen im Bohrlochinneren (begrenzter Raum, Sperrbereich und Temperaturen nahe der Auslegungsgrenze). Die Idee den Versatz mit einer speziellen Saugkockille zu entfernen wurde mit verschiedenen Fachfirmen diskutiert. Es wurden Angebote zur Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie eingeholt.

Die klimatischen Bedingungen im Grubengebäude der Bohrlochlagerung sind deutlich günstiger als bei der Streckenlagerung. Da die Behälter unterhalb der Endlagersohle liegen, konzentrieren sich die Temperaturmaxima auf den Gebirgsbereich um die Bohrlöcher. Die Schaffung günstiger klimatischer Bedingungen ist mit einem entsprechenden Bewetterungs- und Kühlsystem möglich.

AP3: Die Erkenntnisse der beiden vorangegangenen AP's wurden auf die Rückholung von TLB's übertragen. Für diese Einlagerungsvariante ergeben sich ähnliche technische Herausforderungen wie bei der Rückholung von POLLUX®-Behältern. Auch hier ist eine vollständige Freilegung der Behälter nötig und die Temperaturmaxima liegen innerhalb des Grubengebäudes.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Mit dem Jahr 2016 beginnen die Planungen von Rückholungskonzepten bei der Endlagerung im Tongestein.

AP5: Die Ergebnisse des AP2 werden in einem Teilbericht zusammengefasst und im Laufe des ersten Quartals 2016 veröffentlicht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11304
Vorhabensbezeichnung: Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2014 bis 30.06.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 647.987,00 EUR	Projektleiter: Wieczorek

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Als Partner im Betreiber-Konsortium führt die GRS seit 1999 im Auftrag des BMWi Forschungsarbeiten im schweizerischen Untertagelabor Mont Terri im Opalinuston durch. Die Arbeiten dienen dem Ziel, das Verständnis der in einem Endlagersystem im Tonstein ablaufenden Prozesse weiterzuentwickeln sowie die Stoffmodelle und numerischen Simulationsprogramme zu qualifizieren. Für diesen Zweck werden auch relevante Daten ermittelt. Die Untersuchungen betreffen vor allem Fragestellungen bezüglich des THM-Verhaltens des Tonsteins, der Auflockerungszone und von tonhaltigen Buffer- bzw. Verschlussmaterialien. Durch die Arbeit in Gemeinschaftsprojekten mit internationalen Partnern wird der Aufwand reduziert und der Erkenntnisgewinn maximiert.

Die Ergebnisse des Projekts werden direkten Einfluss auf die Konzeption und -auslegung eines Endlagers im Tonstein haben und ergänzen damit die Arbeiten des Projekts AnSichT.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: FE Experiment – Porendruckmessungen und Modellrechnungen als Beitrag zum Streckenlagerungsexperiment der NAGRA im 1:1 Maßstab
- AP2: HE-E Experiment – Weiterführung des im Rahmen des EU-Projekts PEBS aufgebauten Erhitzerversuchs im Mikrotunnel (mit NAGRA, ENRESA und BGR)
- AP3: DM-A Experiment – Langzeitverformungsmessung des Tonsteins in einem Bohrloch
- AP4: SB-A Experiment – Untersuchung von Bohrlochabdichtung und Auflockerungszone (mit BGR)
- AP5: DB Experiment – Messung von Porendruckverlauf sowie chemischem und thermischem Potential im ungestörten Tonstein in einem tiefen Bohrloch durch die Opalinuston-Formation (mit Swisstopo, IRSN, NWMO, NAGRA und BGR)
- AP6: LT-A Experiment – Eigenschaften der sandigen Fazies: Modellkalibrierung an Hand von Laborexperimenten (mit BGR)
- AP7: Technical und Steering Meetings
- AP8: Weiterentwicklung von VIRTUS für den Einsatz in Tonstein

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Messungen des Porendrucks in der Umgebung des FE-Tunnels dauern an und liefern aussagekräftige Ergebnisse. Für die gekoppelte THM-Modellierung des FE-Experiments wurde ein plane-strain-Modell entwickelt, das sowohl für den erhitzten Bereich als auch für die Bereiche, in denen die Porendruckmessungen durchgeführt werden, eingesetzt werden kann. Die Modellrechnungen wurden begonnen.
- AP2: Der HE-E Versuch wurde störungsfrei weitergeführt. Der Buffer im zentralen und erhitzernahen Bereich ist immer noch entsättigt. Der tunnelnahe Gebirgsbereich steht noch unter Saugspannung.
- AP3: Seit 2009 werden mit einer in einem horizontalen Bohrloch eingebauten Dilatometersonde die Langzeitverformung des Bohrlochquerschnitts sowie ergänzend Temperatur und Luftfeuchte gemessen. Mittels mehrerer Minipiezometer im Nahbereich des Dilatometerbohrlochs wird der Porendruck gemessen, der die zeitabhängige Verformung beeinflusst. Eine Simulationsrechnung des Langzeitversuchs mit viskosem Ansatz wird durchgeführt, sobald das im Projekt THM-Ton entwickelte Stoffmodell in CODE_BRIGHT implementiert ist.
- AP4: Im Experiment SB-A wurden die Porendruckmessungen weitergeführt. Eine Messstelle zeigt kontinuierlich den erwarteten Wert von ca. 1.5 MPa, während der Druck bei der anderen, direkt benachbarten Messstelle deutlich niedriger liegt (0.5 MPa), was möglicherweise auf eine Schädigung des Bohrlochnahbereichs zurückzuführen ist. Wasserinjektionstests zur Bestimmung der Permeabilität zeigen eine erhöhte Durchlässigkeit im Bereich des Bohrlochs mit dem niedrigeren Druck.
- AP5: Im tiefen DB-Bohrloch wurden von Solexperts im Auftrag des DB-Konsortiums Hydrotests zur Permeabilitätsbestimmung durchgeführt. Für den Opalinuston wurden Werte im erwarteten Bereich ($10\text{-}20\text{ m}^2$ bis $10\text{-}19\text{ m}^2$) festgestellt, wobei die tonige Fazies etwas leitfähiger ist als die sandige und die karbonatreiche.
- AP6: Für das LT-A Experiment hat BGR einen Langzeit-Deformationsversuch durchgeführt, dessen einzelne Phasen nun von GRS modelliert werden können.
- AP8: Für den Einsatz von VIRTUS für Mont Terri wurde die Verwendung des geologischen Modells mit Swisstopo vereinbart und der Unterauftrag an IFF über die technische Weiterentwicklung von VIRTUS vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Messungen in den laufenden Experimenten
- THM-Prognose der Aufheizphase im FE Experiment (unter Einsatz von VIRTUS)
- 3D-Modellierung des HE-E (unter Einsatz von VIRTUS)
- Modellierung der Bohrlochverformung in DM-A mit viskosen Ansätzen
- Durchführung von Laborexperimenten an Proben der sandigen und karbonatreichen Fazies und zugehörige Modellierung im LT-A Experiment

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11314	
Vorhabensbezeichnung: Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 bis 30.11.2017		Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 558.500,00 EUR		Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Identifizierung von Behälterkorrosionsphasen, mit denen in einem Endlager in einer norddeutschen Tonformation zu rechnen ist.
- Synthese und thermodynamische Charakterisierung von Behälterkorrosionsphasen.
- Ableitung des korrosionsdeterminierten Redoxniveaus im Nahfeld eines Endlagers in einer norddeutschen Tonformation und Prüfung der Auswirkung auf den Transport von Radionukliden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Aufbauend auf einer kritischen Bewertung experimenteller Daten zur Korrosion von Behälterstahlmaterialien werden Korrosionsphasen ermittelt, die in einem Endlager in einer norddeutschen Unterkreide-Tonformation auftreten könnten.
- Die zuvor identifizierten Korrosionsphasen werden mit verschiedenen Methoden gezielt synthetisiert. Mit den erhaltenen Verbindungen wie auch anderen kommerziell erhältlichen oder von anderen Arbeitsgruppen hergestellten Präparaten werden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, um ihre thermodynamische Stabilität zu ermitteln.
- Auf Grundlage der Erkenntnisse sowie weiterer bekannter Randbedingungen wird die mögliche Bandbreite des Redoxniveaus in einem Endlager in einer norddeutschen Unterkreide-Tonformation modellhaft ermittelt. Mit Hilfe von Stofftransportmodellen wird gezeigt, wie sich die Variabilität des Redoxniveaus auf die Konzentration der Radionuklide entlang des Ausbreitungspfades im einschlusswirksamen Gebirgsbereich auswirkt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden die Synthesen von eisen(II)haltigen Festphasen fortgesetzt. Die beiden Phasen $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ (Fe-Hibbingit) und $\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (Chukanovit) konnten unter streng anaeroben Bedingungen hergestellt werden. Sie stehen nun für Löslichkeitsuntersuchungen zur Verfügung.

Weitere Versuche werden sich der Frage widmen, ob bei Anwesenheit signifikanter Mg-Mengen auch Mischphasen des Typs $(\text{Fe,Mg})_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ und $(\text{Fe,Mg})_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ entstehen können.

Mit Hilfe geochemischer Modellierungen wurde die Entwicklung der Nahfeldchemie beim Kontakt von salinaren Lösungen mit einem Metallbehälter (Eisen) untersucht. Hierbei stand die Frage im Mittelpunkt, welchen Einfluss die Anwesenheit von Magnesium in der Lösung (aus dem Kontakt mit magnesiumhaltigen Baustoffen oder geogenen Ursprungs) auf die Art der Reaktionsprodukte hat. Es zeigte sich, dass mit steigendem Magnesiumgehalt eine Pufferwirkung verstärkt wird, die das Erreichen einer Sättigung der Phase $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ verzögert. Die Korrosion kommt aufgrund der Pufferung erst später zum Erliegen. Zugleich kommt es zur Ausbildung eines höheren Wasserstoffdrucks. Die Rechnungen werden für andere geochemische Randbedingungen wiederholt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Synthesen von $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, Chukanovit und Magnesiumhaltiger fester Lösungen. Analyse der Löslichkeit dieser Phasen bei 25 °C und erhöhten Temperaturen.

Modellierung des maximalen Korrosionsfortschrittes und des voraussichtlichen pH-Wertes unter verschiedenen geochemischen Randbedingungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11324
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2014 bis 30.09.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 771.673,00 EUR	Projektleiter: Dr. Moog	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen von LAVA-2 wird ein Modell entwickelt und experimentell abgesichert, mit dem die veränderliche Permeabilität eines Dichtbauwerks aus Salzbeton in Schacht- und Streckenverschlüssen in Salzformationen infolge der Korrosion durch Salzlösungen zeit- und ortsabhängig beschrieben werden kann. Das Modell soll die diffusionsbestimmte Korrosion durch die geringpermeable störungsfreie Salzbeton-Matrix ebenso beschreiben, wie die Korrosion auf Rissen und Kontaktfugen Dichtbauwerk-Salzgebirge.

Das Vorhaben wird in Kooperation mit dem Vorhaben LASA (Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar) der GRS durchgeführt. Während im Projekt LASA die mechanisch-hydraulischen Eigenschaften im Vordergrund stehen, soll im Projekt LAVA-2 das System bezüglich chemisch-hydraulischer Prozesse untersucht werden. Die Beschreibungen der Einzelprozesse sollen langfristig in ein THMC-Modell zur Prognose des Langzeitverhaltens von Dichtbauwerken aus Salzbeton in Schacht- und Streckenverschlüssen einfließen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Laborversuche
- AP1.1: Präparation der Salzbetonproben und der Korrosionslösungen
- AP1.2: Ermittlung von Materialkenngrößen des unkorrodierten Salzbetons
- AP1.3: Kaskadenversuche, Versuche zur Ermittlung des Reaktionspfades der Korrosion mit NaCl- und IP21-Lösung
- AP1.4: Vorbereitung der Versuchsreihen
- AP1.5: Durchführung der Versuchsreihen
- AP1.6: Probenahme und Messungen: Matrixproben, Schnittflächen- und Kontaktflächenproben
- AP1.7: Auswertung der Messdaten
- AP2: Modelltheoretische Arbeiten
- AP2.1: Bereitstellung der thermodynamischen Daten
- AP2.2: Test und Anpassung eines reaktiven Stofftransportmodells zur Beschreibung des diffusions- und advektiv bestimmten Lösungsangriffs auf die poröse Matrix von Salzbeton
- AP2.3: Test des reaktiven Stofftransportmodells zur Beschreibung diskreter Risse
- AP3: Simulationsrechnungen
- AP3.1: Geochemische Gleichgewichtsmodellierung der Kaskadenversuche
- AP3.2: Modelltheoretische Betrachtung der Diffusions- sowie Advektionsversuche
- AP3.3: Modelltheoretische Betrachtungen der Schnittflächen- und Kontaktflächenversuche mit diskreten Rissen
- AP4: Dokumentation der Ergebnisse und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Die Batchversuche, die als Vorversuche für die Kaskadenauslaugversuche zur Bestimmung der Äquilibrierungszeit dienen, wurden im 2. Halbjahr 2015 durchgeführt. Die Ergebnisse im System Salzbeton/NaCl-Lösung zeigen, dass keine Veränderungen in der Lösungszusammensetzung oder im Phasenbestand des Feststoffes zu verzeichnen sind. Die Ergebnisse im System Salzbeton/IP21-Lösung sind noch nicht vollständig ausgewertet, so dass hier noch keine Aussage getroffen werden kann. Zur Auswertung der Batchversuche werden die Lösungen analysiert und die Veränderung des Phasenbestandes mittels XRD überprüft.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Batchversuche kann auf eine Durchführung von Kaskadenversuche im System Salzbeton/NaCl-Lösung verzichtet werden.

Die Messzellen für die „Through-Diffusion“ Versuche stehen bereit. Die Prüfkörper für die Vorversuche zur Ermittlung der passenden Prüfkörperhöhe (1 cm / 2 cm / 3 cm) befinden sich derzeit in der 1. Versuchsphase (Aufsättigung).

Aus dem Projekt LASA wurde ein kombinierter Prüfkörper (Salzbeton im Salzmantel) übernommen. Der Prüfkörper wurde zuvor mit NaCl-Lösung durchströmt und mit einem Manteldruck beaufschlagt. Die führte zu einer Minimierung der Permeabilität. Nach Übergabe in das Projekt LAVA-2 wurde die NaCl-Lösung durch eine IP21-Lösung ersetzt. Die Entwicklung der Permeabilität wird derzeit untersucht.

Es wurde mit der Herstellung weiterer kombinierter Prüfkörper begonnen. Die Prüfkörper sollen für Advektionsversuche und „Through-Diffusion“ Versuche verwendet werden. Zudem soll ein weiterer Prüfkörper für einen Diffusionsversuch mit der PET-Methode im HZDR hergestellt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Auswertung der Batchversuche im System Salzbeton/IP21-Lösung. Auf Grundlage dieser Ergebnisse Festlegung der Äquilibrierungszeit für die Durchführung der Kaskadenversuche.
- Fortführung der Herstellung der kombinierten Prüfkörper und Start der Advektionsversuche an den kombinierten Prüfkörpern.
- Fortführung der Vorversuche für die „Through-Diffusion“ Versuche.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jantschik,K.; Czaikowski,O.; Moog, H.C.; Wieczorek,K.: Investigating the sealing capacity of a seal system in rock salt (DOPAS project). EUROSAFE 2015, Seminar in Session “Waste Management and Decommissioning & Dismantling”, Brussels (Belgium)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11334A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 775.880,00 EUR	Projektleiter: Dr. Munoz

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Projektes EDUKEM ist die Gewinnung abgesicherter Daten zur Speziation und zu den Löslichkeitsgrenzen von Uran (IV/VI) in verdünnten bis hochsalinaren Lösungen flankiert von methodischen Weiterentwicklungen.

Das Ziel des GRS-Teilprojekts EDUKEM ist die Entwicklung neuartiger elektrochemischer Methoden zur Bestimmung der Speziation von U(IV) und U(VI) in komplexen hochsalinaren Lösungen und zur Gewinnung der entsprechenden thermodynamischen Daten. Dieses Ziel wird in zwei Phasen erreicht. In der ersten Phase werden Nieder- und Hochfrequenzmethoden zur Messung der Ionen-Mobilität in hochsalinaren Milieus entwickelt. Die gewonnenen Daten werden in der zweiten Projektphase für die Auswertung der geplanten potentiometrischen Experimente in Uran-Systemen angewandt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aufbau des experimentellen Messplatzes
- AP2: Durchführung von experimentellen Messungen der Ionen-Mobilität
- AP3: Auswertung der experimentellen Daten und systematische Darstellung der Ionen-Mobilität durch die MSA-Theorie
- AP4: Durchführung der potentiometrischen Messungen
- AP5: Koordination des Verbundvorhabens
- AP6: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Durchführung von experimentellen Messungen der Ionen-Mobilität
Messungen im Niederfrequenzbereich wurden systematisch in CsCl-, KCl-, NaCl-, MgCl₂- CaCl₂-, Na₂SO₄ und K₂SO₄-Lösungen bei sieben Konzentrationen im Bereich 10⁻⁴-10⁻¹ mol Kg⁻¹ und unterschiedlichen Temperaturen im Bereich von 20 °C bis 90 °C mit der Impedanz-Anlage durchgeführt. Messparameter wurden weiter optimiert Die Hochfrequenzanlage (TDR) mit Peltier-Temperaturkontrolle wurde aufgebaut und getestet. Trotz erster zuverlässiger Ergebnisse der Messungen mit Testlösungen, gibt es noch Bedarf, an dem Design des TDR-Sensors zu arbeiten, um das Rauschniveau

des Signals weiter zu reduzieren. Eine optimale Geometrie wurde bereits identifiziert und wird bald eingesetzt

AP3: Auswertung der experimentellen Daten und systematische Darstellung der Ionen-Mobilität durch die MSA-Theorie

Der Literatur folgend hat man versucht, die im AP2 gewonnenen Impedanz-Daten an die entsprechende Gleichung des Coehlos Modells für die dielektrische Antwort eines Elektrolyten anzupassen, aus deren Parametern die Ionenmobilität berechnet werden kann. Dieses Modell hat sich allerdings als unvereinbar erwiesen und nach einer langen Suche der möglichen Ursache für diese Unvereinbarkeit wurde es schließlich als grundsätzlich unpassend für unser System bezeichnet. Die Daten werden daher durch eine neue Interpretation der gemessenen Zeitkonstante der Impedanzspektren mit Anwendung der MSA-Theorie erneut ausgewertet

AP4: Betreuung des Doktoranden

Der durch dieses Projekt eingestellte Doktorand zeigte weiterhin eine große Motivation und seine experimentellen Arbeiten folgen dem geplanten Zeitraster

AP5: Koordination des Verbundvorhabens

Das 2. EDUKEM-Treffen fand am 14. und 15. Oktober am KIT-INE statt. Erste Ergebnisse der Partner wurden vorgestellt. Technische Schwierigkeiten der experimentellen Methoden und weiteres Vorgehen bzgl. Kooperationen wurden diskutiert

4. Geplante Weiterarbeiten

Messung und Auswertung der Ionen-Mobilität (AP2/AP3)

- Überprüfung der neuen Auswertung der Niederfrequenz-Daten (Impedanz)
- Erweiterung des Konzentrationsbereiches bis zu 0.5 mol Kg^{-1} bei den Messungen mit der Impedanzanlage
- Testen der neuen Sensorgeometrie der TDR-Anlage
- Systematische Messung von CsCl-, KCl-, NaCl-, MgCl₂- CaCl₂-, Na₂SO₄ und K₂SO₄-Lösungen in der Impedanzanlage und Auswertung im Bereich 0.5 mol Kg^{-1} bis zur Sättigung bei 25 °C
- Design und Konstruktion einer elektrochemischen Glaszelle zur potentiometrischen Messung eines ausgewählten Uran-Redoxsystems

Koordination des Verbundvorhabens (AP5)

- Vor- und Nachbereitung des 3. Projekttreffens zum Verbundvorhaben EDUKEM
- Koordination der ersten Kooperationsarbeiten an Redoxsystemen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation der Ergebnisse mit der entwickelten Impedanzmethode auf der Jahrestagung der The Electrochemical Society im Juni 2016 in San Diego USA

Erstellung einer Veröffentlichung in einem internationalen Fachjournal

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11334B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 259.275,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt EDUKEM (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig und Institut für Nukleare Entsorgung, Karlsruhe Institut für Technologie) setzt neuartige komplementäre Ansätze zur Analyse der Uranspeziation um, welche durch die hohe chemische Komplexität uranhaltiger Lösungen im salinaren Milieu erforderlich sind. Uran bildet im reduzierenden wie auch im oxidierenden Milieu eine Vielzahl von Komplexen, welche oft gleichzeitig und in stark unterschiedlichen Konzentrationen in Lösung vorliegen. Zudem ist für die thermodynamische Beschreibung der Chemie in hochsalinaren Lösungen die Kenntnis ionenspezifischer Wechselwirkungsparameter (Pitzer-Parameter) zwingend erforderlich, um über Aktivitätskoeffizienten eine zuverlässige Einschätzung von Ionenstärkeeffekten auf Löslichkeit und Speziation zu ermöglichen. Die Bestimmung von Pitzer-Parametern mit klassischen Methoden, wie Löslichkeitsexperimenten und spektroskopischen Untersuchungen, soll hier durch alternative elektrochemische Verfahren unterstützt werden. Die Ergebnisse sollen zum Abbau von Unsicherheiten und Konservativitäten bei der Berechnung der Speziation und Löslichkeitsgrenzen von Uran (IV/VI) in hochsalinaren Lösungen führen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Elektrochemische Messungen (GRS)
- AP2: Löslichkeit relevanter U(IV) und U(VI) Phasen (KIT-INE)
- AP3: Spektroskopische Untersuchungen (HZDR-IRE)
- AP3.1: Spektroskopische Charakterisierung von Uran(IV/VI)-Mineral- und -Sekundärphasen
- AP3.2: Spektroskopische Charakterisierung von U(+IV)/U(+VI) in ausgewählten hochsalinaren Lösungen
- AP3.3: Spektroskopische Untersuchungen an Gleichgewichtslösungen
- AP3.4: Ableitung thermodynamischer Parameter
- AP4: Entwicklung eines thermodynamischen Modells für U(VI) (GRS, KIT-INE, HZDR-IRE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3.1:

- Zusammenstellung natürlicher U(IV) und U(VI)-Mineralphasen zur spektroskopischen Charakterisierung aus den Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg und den Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden.

AP3.2:

- Phosphat: Identifizierung des Einflusses von Phosphat auf die Uran(IV)-Speziation.
- Sulfat: Bestimmung der spektroskopischen Charakteristika der gebildeten Uran(VI)-Komplexe und Ableitung des Einflusses der Ionenstärke auf diese.
- Erste Untersuchungen zur Mobilität und Speziation von U(IV) in Porenwässern endlagerrelevanter Formationen mit hohen Ionenstärken.
- Aufbau des Photoakustik-Messplatzes (LIPAS) und Messungen an Referenzlösungen.
- Messungen an bestehenden TRLFS-Systemen zeigen die Notwendigkeit einer Überarbeitung des technischen Aufbaus für die Messung der U(IV)-Fluoreszenz.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3.1:

- Mikroskopische und spektroskopische Untersuchungen (REM, TEM, XRD, EXAFS) der natürlichen U(IV)/U(VI) Mineralphasen aus den Sammlungen um Eignung für Fluoreszenz-Untersuchungen zu bestimmen.
- Synthese von U(IV)-Mineralen (evtl. UCl₄) als Ausgangsstoff für spektroskopische Untersuchungen zur Charakterisierung der U(IV)-Fluoreszenz und Speziation.

AP3.2:

- Spektroskopie (TRLFS, UVVIS, LIPAS, IR) zu Lösungskomplexen des U(VI) und U(IV) in weiterer Abstimmung mit KIT-INE.
- Mobilität und Speziation von U(IV) in Porenwässern endlagerrelevanter Formationen mit hohen Ionenstärken spektroskopisch charakterisieren.
- Phosphat: Identifizierung des Einflusses von Phosphat auf die Uran(IV)-Speziation
- Chlorid/Karbonat: Spektroskopische Bestimmung der Uran(VI)-Speziation in 3 M NaCl-Lösung in Gegenwart und Abwesenheit von Carbonat.
- Sulfat: Bestimmung der spektroskopischen Charakteristika der gebildeten Uran(VI)-Komplexe und Ableitung des Einflusses der Ionenstärke auf diese.
- Umbau des TRLFS-Messplatzes um Untersuchungen von U(IV) zu ermöglichen.

AP3.4:

- Vertiefende Einarbeitung in Chemometrie zur Spektren-Interpretation.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Posterbeitrag bei "The ThUL School in Actinide Chemistry", 28.09.-02.10.2015, Karlsruhe, Deutschland: "EDUKEM project - first spectroscopic insights into the U(IV)/U(VI) speciation in concentrated NaCl solution".

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11334C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 394.555,00 EUR	Projektleiter: Dr. Altmaier	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel dieses Vorhabens ist die Gewinnung abgesicherter Daten zur Speziation und zu den Löslichkeitsgrenzen von Uran(IV/VI) in verdünnten bis hochsalinaren Lösungen flankiert von methodischen Weiterentwicklungen.

Ziel dieses Projektes ist, zu einem verbesserten Verständnis der Uranchemie in endlagerrelevanten wässrigen Systemen und einer wesentlich verbesserten quantitativen Modellierung der Löslichkeit und Speziation für Quelltermabschätzungen im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen zu kommen. Die Entwicklung neuartiger komplementärer Messmethoden, die zum Abbau von Ungewissheiten und Konservativitäten bei der Berechnung der Speziation und Löslichkeitsgrenzen von Uran(IV/VI) in hochsalinaren Lösungen führen sollen, ist Teil dieses Ansatzes. Es werden erfolgreich etablierte spektroskopische Analysen und Löslichkeitsmessungen durchgeführt, so dass sowohl ein integrales Bild der untersuchten Systeme abgeleitet werden kann, als auch neu entwickelte spektroskopische und elektrochemische Methoden validiert werden können. Dies gilt vor allem für das für endlagerrelevante Bedingungen besonders wichtige U(IV)-System, für das die Datenlage besonders begrenzt ist, aber auch für das unter nicht-reduzierenden Bedingungen relevante U(VI)-System. Die im Rahmen von EDUKEM gewonnenen thermodynamischen Daten und Modellparameter für U(IV) und U(VI) werden in nationale und internationale Datenbankprojekte (NEA-TDB, THEREDA) implementiert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

(Gesamtprojekt EDUKEM, Arbeiten von INE)

AP1: *Elektrochemische Messungen (GRS)*

AP2: Löslichkeit und Thermodynamik relevanter U(IV) und U(VI) Phasen (INE)

AP2-1: Arbeiten zu U(VI)

AP2-2: Arbeiten zu U(IV)

AP3: *Spektroskopische Untersuchungen (IRE)*

AP4: Entwicklung eines thermodynamischen Modells für U(VI) – (INE, GRS, IRE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen des Berichtszeitraums wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Abschluss der Literaturstudie zum Redoxverhalten von U(IV)/U(VI) und der Uran-Löslichkeit bei An- und Abwesenheit von Carbonat.
- Abschluss der Uran-Redoxexperimente in verdünnten Lösungen. Laufende Experimente in konzentrierten NaCl, MgCl₂ und CaCl₂ Systemen erfordern längere Equilibrierungszeiten.
- Start der U(VI) Löslichkeitsexperimente in alkalischen KCl Lösungen mit K₂U₂O₇·xH₂O(s). Gleichgewichtszustand ist nach 100 Tagen nahezu erreicht.
- Kritische Evaluation des thermodynamischen Modells aus [2003ALT/NEC] zur Löslichkeit und Speziation von U(VI) in NaCl und MgCl₂ Lösungen mit SIT oder Pitzer Modell. Beginn der Erstellung eines Manuskripts zu diesen Systemen.
- Elektrochemische Präparation und Charakterisierung einer genau definierten U(IV) Ausgangslösung. Ausfällung und Alterung von 0.5 g UO₂(am,hyd) als initial eingesetzter Bodenkörper für spätere Löslichkeitsexperimente.
- Abschluss der Experimentplanung für U(IV) Löslichkeitsexperimente bei An- und Abwesenheit von Carbonat in verdünnten bis konzentrierten NaCl, MgCl und CaCl₂ Systemen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für das erste Halbjahr 2016 sind folgende Aktivitäten geplant:

- Abschluss der Uran-Redoxexperimente in konz. NaCl, MgCl₂, CaCl₂ Systemen.
- Charakterisierung von Uran-Festphasen aus Redoxexperimenten mit XPS.
- Erstellung eines Manuskripts (Cevirim et al.) zu Uran-Redoxprozessen in verdünnten bis konzentrierten salinaren Systemen.
- Abschluss der U(VI) Löslichkeitsexperimente in alkalischer KCl mit K₂U₂O₇·xH₂O(s). Ableitung von thermodynamischen Daten und Ion-Wechselwirkungsmodellen. Start der Experimente mit UO₃·2H₂O(cr) Festphase in sauren KCl Systemen.
- Fertigstellung des Manuskripts zur U(VI) Löslichkeit in NaCl und MgCl₂ Lösungen basierend auf [2003ALT/NEC]).
- Beginn von U(IV) Löslichkeitsexperimenten in verdünnter bis konzentrierter NaCl, MgCl₂ und CaCl₂ Lösung unter Abwesenheit von Carbonat. Analyse der Hydrolyse und möglicher ternärer Ca-U(IV)-OH Komplexe.
- Beginn von U(IV) Löslichkeitsexperimenten in verdünnter bis konzentrierter NaCl bei Anwesenheit von Carbonat. Vergleich mit Daten/Modell für Th(IV) [2005ALT/NEC].
- Planung von experimentellen TRLFS Studien mit U(VI) in verdünnten bis konzentrierten CaCl₂ Systemen. Analyse möglicher ternärer Ca-U(VI)-OH Komplexe, komplementär zu unpublizierten Arbeiten des INE aus [2005ALT/NECb].

5. Berichte, Veröffentlichungen

Es wurde von N. Cevirim et al. ein Abstract „REDOX CHEMISTRY AND SOLUBILITY OF URANIUM IN ALKALINE TO HYPERALKALINE NaCl/KCl SYSTEMS“ für die Konferenz “Mechanisms and Modelling of Waste/Cement Interactions”, May 22-25, 2016, Murten, Schweiz, eingereicht.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11344A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 645.100,00 EUR	Projektleiter: Dr. Meleshyn

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Ziele des Verbundvorhabens bestehen in der Entwicklung abgesicherter, objektiver Kriterien zur Auswahl geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle. Das Hauptziel des Projektes ist es, den Umwandlungsmechanismus von Bentoniten als Funktion von Lösungszusammensetzung, Temperatur und mikrobieller Aktivität anhand von Laborversuchen aufzuklären. Konkret soll festgestellt werden, ob diese Einflüsse zu Änderungen des Fe(III)-Gehalts der reagierten Bentonite bzw. zu Änderungen des Quelldrucks und der Lösungspermeabilität von hochkompaktierten Bentoniten führen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Diese Aufklärung soll im Projekt anhand der Untersuchungen von 15 Bentoniten erfolgen, die mit einer auf den für die Endlagertiefe in der Unterkreidetonformation in Norddeutschland erwarteten Salzgehalt von 150 g/L verdünnten Gipshutlösung und der Opalinustonporenlösung bei 25 °C, 60 °C, 90 °C und 120 °C ein und zwei Jahre reagieren werden. Die durch die Reaktion veränderten Quelldruck und Permeabilität – sowie der Fe(II)/Fe(III)-Gehalt für mikrobielle Versuche – der Bentonite und die Hauptionkonzentrationen der reagierten Lösungen sollen erfasst werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum erfolgte die Anschaffung der drei Messzellen für Quelldruck- und Permeabilitätsmessungen sowie für deren Betrieb notwendiger Verbrauchsmaterialien. Das Ansetzen der Lösung für die mikrobiellen Batchversuche hat ergeben, dass das Huminstoffanalogon AQDS nicht bei der vorgesehenen Konzentration in der verdünnten Gipschlösung löslich ist. Die anschließenden Löslichkeitsversuche haben zur Folge gehabt, dass die in mikrobiellen Batches einzusetzende AQDS-Konzentration auf 0,1 mM festgelegt wurde. Ein Teil der Versuche bei 25 °C, 60 °C und 90 °C wurde nach dem Erhalt der Bestellungen Ende September gestartet.

Es wurde jedoch bei den Versuchen bei 90 °C ein Lösungsverlust aus den Schraubverschlussgefäßen festgestellt. Als erste Gegenmaßnahme wurden die Schraubverschlüsse mit der laut Herstellerangaben bis 130 °C dichten Silikonabdichtung versehen. Diese Abdichtungsmaßnahme hat sich bei 90 °C innerhalb einer Woche bewährt, jedoch nicht bei 120 °C. Daher wurde entschieden, für die Versuche bei 120 °C auf die nach der Befüllung zu verschweißende Gefäße zurückzugreifen. Anderthalb Wochen später wurde jedoch auch in den silikonabgedichteten Versuchen bei 90 °C ein Verlust von 15 g Lösung festgestellt. Daher wurde Anfang November die Entscheidung getroffen, alle Versuche bei erhöhten Temperaturen (60 °C, 90 °C und 120 °C) in den nach der Befüllung zu verschweißenden Gefäßen durchzuführen. Die Bestellung wurde sogleich aufgegeben und die 88 Gefäße werden ab der zweiten Januarwoche innerhalb von wenigen Wochen geliefert werden.

Durch diese Projektänderung, die dem Projektträger bekanntgegeben wurde, werden im 1. Quartal 2016 zusätzliche Materialkosten entstehen. Des Weiteren verschiebt sich dadurch der voraussichtliche Start der Batches vom Juni 2015 auf Januar 2016, so dass eine voraussichtliche siebenmonatige kostenneutrale Projektlaufzeitverlängerung notwendig sein wird.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Die Batchversuche werden angesetzt und ein bzw. zwei Jahre laufen.
- Die Messungen des Quelldrucks und der Permeabilität der Ausgangsbentonite sollen innerhalb eines Jahres nach dem Start der Batchversuche durchgeführt werden. Die Messungen des Quelldrucks und der Permeabilität der reagierten Bentonite erfolgt nach einem bzw. zwei Jahren nach dem Start der Batchversuche.
- Die Messungen des Fe(II)/Fe(III)-Gehaltes und der Hauptionkonzentrationen der reagierten Lösungen erfolgen nach ein- bzw. zweijähriger Reaktionszeit.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11344B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 202.583,00 EUR	Projektleiter: Dr. Arnold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung abgesicherter, objektiver Kriterien zur Auswahl geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle in Tonformationen. Die konkreten Ziele dieses Vorhabens sind: (1) Aufklärung des Lösungs- und Umwandlungsmechanismus von Smektiten (basierend auf dem GRS-Vorhaben „Fe-Bentonit“ und dem BGR Projekt „idealer Bentonit“) als Funktion von Lösungszusammensetzung und Temperatur anhand von Laborversuchen, optimierter Analytik und quantenmechanischer Modellrechnungen; (2) Identifizierung der Prozesse, die bei unterschiedlichen Bentoniten zu unterschiedlichen Reaktivitäten (Langzeitverhalten) führen; (3) Korrelierung der chemisch-mineralogischen Veränderungen der kompaktierten Bentonite mit Änderungen der hydraulischen Eigenschaften (Quelldruck und Permeabilität); (4) Untersuchungen zum Einfluss von Bakterien auf die Bentonitumwandlung; (5) Erläuterung der Rolle der Löslichkeit von Smektiten hinsichtlich der Fe-Korrosion und (6) Ableitung von Kriterien zur Auswahl optimal geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern.

Bisher ist es nicht hinreichend zuverlässig gelungen, alle relevanten experimentellen Daten zum Langzeitverhalten von Bentoniten im Kontakt zu Lösungen unter Endlagerbedingungen mit einem einheitlich abgesicherten Modell zu erklären. Eine Unsicherheit liefert in diesem Zusammenhang die Mikrobiologie. Reaktionen, die abiotisch nicht stattfinden, sind im Kontakt mit Mikroben möglicherweise als relevant anzusehen, da Mikroben spezielle Reaktionen katalysieren können.

Durch ein experimentelles und modelltheoretisches Arbeitsprogramm sollen Lücken im Prozessverständnis der Bentonitumwandlung im Kontakt zu Formationslösungen geschlossen werden. In dem hier vorgeschlagenen Vorhaben sollen zum ersten Mal vier in der Bentonitforschung ausgewiesene nationale Arbeitsgruppen zusammenarbeiten. Zum Erreichen der oben genannten Ziele sind aufeinander abgestimmte experimentelle und analytische Arbeiten in den Laboren der GRS, der Universität Greifswald und des HZDR vorgesehen. Dafür stellt die BGR 40 unterschiedliche, gut charakterisierte, Bentonite zur Verfügung, von denen 15 von der GRS auf ihre hydromechanischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen untersucht werden. Zwei Bentonitproben werden mit Nährsubstraten in den Lösungen durchgeführt, um Informationen über eine mögliche Beteiligung von Bakterien an Mineralumwandlungen zu belegen oder auszuschließen.

Innerhalb der Kooperationspartner (Förderkennzeichen 02E11344): Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Abteilung Sicherheitsanalysen, Bereich Endlagersicherheitsforschung, Braunschweig; Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Geographie und Geologie, Greifswald; Technische Universität München, Theoretische Chemie

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP7.1.2: Einfluss von mikrobiellen Prozessen auf die Bentonitumwandlung

- Bestimmung der Zellzahl bzw. Zelldichte
- Bestimmung der mikrobiellen Diversität
- Real Time Quantitative PCR (oder Q-PCR)
- Kultivierung von Mikroorganismen auf geeigneten Nährmedien
- Catalyzed Reporter Deposition Fluorescence In-Situ-Hybridization (CARD-FISH)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP7.1.2:

Nach ein paar wenigen Modifikationen der Methode von Selenska-Pobell und Kollegen¹ ist es gelungen von 30 g sowie 10 g des Bentonits B36 (Slowakei/Liskovec) und 10 g des Bentonits SD80 (Milos) hochmolekulare DNA zu extrahieren. Des Weiteren konnte mittels Polymerase Kettenreaktion (PCR) unter Verwendung geeigneter Primer ein großes Fragment der vorhandenen 16S rRNA Gene amplifiziert werden. Auch der Genabschnitt zwischen dem 16S rRNA Gen und dem 23S rRNA Gen konnte ebenfalls mittels PCR und unter Verwendung geeigneter Primer amplifiziert werden (RISA). Das erhaltene PCR Produkt enthält Fragmente unterschiedlicher Länge, welche von der DNA verschiedener Mitglieder der mikrobiellen Gemeinschaft amplifiziert wurden. Das Produkt wird in einem Agarosegel elektrophorisiert und die DNA visuell angefärbt. Daraus resultiert ein komplexes Bandenmuster, welches spezifisch ist für die vorhandene mikrobielle Gemeinschaft. In Abb. 1 und 2 sind die charakteristischen RISA Profile von den Proben B36 und SD80 dargestellt.

Beim Vergleich der RISA Profile der Proben B36 und SD80 zeigen sich Unterschiede in der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft. Nähere Informationen dazu wird die Analyse der mikrobiellen Gemeinschaft mittels 16S rRNA Genanalyse liefern. Die bisher verwendete Methode zur DNA Extraktion ist sehr zeitintensiv. Vor allem bei einem höheren Probenaufkommen würde für die DNA Extraktion sehr viel Zeit benötigt. Daher wird derzeit versucht alternativ käuflich erwerbliche DNA Extraktions-Kits zu testen. Bisher war dies allerdings noch nicht erfolgreich.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP7.1.2:

Es werden weiterhin alternative DNA Extraktionsverfahren getestet. Außerdem sollen die mikrobiellen Gemeinschaften in den beiden Proben B36 und SD80 nun mittels 16S rRNA Genanalyse charakterisiert werden. Des Weiteren soll versucht werden, die Zellzahl und Zelldichte in den Proben zu bestimmen und geeignete Nährmedien ausgesucht werden, um Mikroorganismen zu kultivieren.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Domstr. 11, 17489 Greifswald		Förderkennzeichen: 02 E 11344C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 169.289,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Warr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge zur

- Aufklärung des Lösungs- und Umwandlungsmechanismus von Smektiten (basierend auf dem GRS-Vorhaben „Fe-Bentonit“) als Funktion von Lösungszusammensetzung und Temperatur anhand von Laborversuchen, optimierter Analytik und quantenmechanischer Modellrechnungen
- Identifizierung der Prozesse, die bei unterschiedlichen Bentoniten zu unterschiedlichen Reaktivitäten (Langzeitverhalten) führen
- Korrelierung der chemisch-mineralogischen Veränderungen der kompaktierten Bentonite
- Untersuchungen zum Einfluss von Bakterien auf die Bentonitumwandlung
- Erläuterung der Rolle der Löslichkeit von Smektiten hinsichtlich der Fe-Korrosion
- Ableitung von Kriterien zur Auswahl optimal geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern.

Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten 02E11344A und 02E11344B.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analytik der Originalproben (XRD, TEM, CEC)
- AP2: Natürliches Analogon: Beprobung & Analytik
- AP3: Natürliches Analogon: Saponit/Experimente
- AP4: Vorversuche für mineralogische Analytik
- AP5: Vorversuche für Elektronen-Mikroskopie
- AP6: Natürliches Analogon: Saponit/Analytik
- AP7: Natürliches Analogon: Experimente & Analytik
- AP8: Analytik der GRS Reaktionsprodukte
- AP9: Auswertung (Mechanismen)
- AP10: Berichte

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die mineralogische Charakterisierung der Originalproben mit den jeweiligen Methoden (XRD, XRF, DTA/TG, CEC, TEM, FT-IR) ist nahezu abgeschlossen.
- AP2: Die Untersuchung eines vietnamesisches Bentonitvorkommen diene als natürliches Analogon zur Unterstützung des Verständnisses von Umwandlungsmechanismen in Bentoniten bei Kontakt mit Wasser und Temperaturen < 100 °C. Die Beprobung ist erfolgt und die mineralogische Charakterisierung mittels XRD, RFA, FT-IR, TEM sowie CEC-Bestimmungen ist abgeschlossen. Ergebnisse sind Neubildung von Montmorillonit, Illit-Smektit-Wechsellagerungen (IS-ml) und Kaolinit. Mit zunehmender Teufe reduziert sich der Anteil an Smektit-schichten (% S) in den IS-ml von 40 % auf nahezu 10. Anhand der TEM-EDX-basierten Mineralformeln wurde für Montmorillonit und IS-ml das jeweilige spezifische Lösungspotential ermittelt. Die meisten Proben zeigen eine schnelle Reaktionsfähigkeit sowie Si-Ausfällungen. Es sind auch beide verschiedene Schutzmechanismen (Na- bzw. Ca+Mg-basiert) vertreten.
- AP4: Vorversuche für die mineralogische Analyse (Batch-Versuche) zur Erfassung des Ausmaßes von Lösungsprozessen („smectite destabilized“) sind in Vorbereitung.
- AP5: Das EDX des TEM's wird für zukünftige Elementanalysen an Bentoniten mit Hilfe geeigneter Standardminerale geprüft. Da bei Reproduzierbarkeit des Standards, die Genauigkeit des Systems und dessen Messparameter beurteilt werden kann. RFA Daten der Standardminerale dienen als Referenz. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Genauigkeit der Messungen verbessert werden muss, wobei für alle getesteten Verweilzeiten die SiO_2 Konzentrationen erhöht und Al_2O_3 Konzentrationen erniedrigt gemessen werden. Die Ursache dafür muss erst noch ermittelt werden.
- Die Arbeitspakete zum Natürlichen Analogon (AP3, AP6, AP7) sind in der Durchführung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die begonnenen Arbeiten werden im folgenden Berichtszeitraum abgeschlossen. Die erhobenen Daten der Ausgangsmaterialien dienen als Referenz und werden den nach den Experimenten alterierten Bentoniten gegenübergestellt.
- AP2: In Bezug auf das natürliche Analogon sind 2016 weitere Untersuchungen geplant. Die bislang dabei untersuchten Proben eignen sich zu den weiteren experimentellen Arbeiten. Die sollen dann die Berechnungsergebnisse zu Typ des spezifischen Lösungspotentials und Geschwindigkeit der Reaktionsfähigkeit verifizieren. Damit wäre dann eine Ableitung denkbar, welche geologische Parameter besonders Einfluss auf die Stabilität der Smektit nehmen. Dazu sind nun Proben zu beiden Typen und allen drei Reaktionsklassen verfügbar.

Die Arbeiten (AP3-AP9) werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorhabensbeschreibung fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

/HER15/

Herbert, H.-J.; Kasbohm, J.; Nguyen-Thanh, L.; Meyer, L.; Hoang-Minh, T.; Xie, M.; Mählmann, R.F. (2015): Alteration of expandable clays by reaction with iron while being percolated by high brine solutions. Applied Clay Science, Volumes 121-122, 174-187

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München	Förderkennzeichen: 02 E 11344D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt D	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz + Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 168.932,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krüger

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

Quantenmechanische Modellierung von Eisensubstitutionen im Kristallgitter und an den Oberflächen von Smektiten und Untersuchung des Einflusses auf die Mineraleigenschaften.

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

- Charakterisierung von Referenzmineralen
- Eisensubstitutionen in Smektiten
- Eisensubstitutionen an Smektitoberflächen
- Eisenadsorption an Smektitoberflächen

Ziel der Arbeiten ist ein Beitrag zur Charakterisierung von Eisenionen in Montmorillonit und Beidellit sowie die Untersuchung der Verteilung dieser Ionen im Festkörper und an seinen Oberflächen als Beitrag zur Untersuchung der Mineraleigenschaften in Abhängigkeit vom Eisengehalt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Charakterisierung von Referenzmineralen; AP2: Eisensubstitutionen in Smektiten;
AP3: Eisensubstitutionen an Smektitoberflächen

Anhand der Minerale Kaolinit, Pyrophyllit, Montmorillonit und Nontronit wurden verschiedene Rechenmethoden verglichen (AP1), um den in konventionellen Dichtefunktionalen fehlenden Beitrag der Van-der-Waals-Wechselwirkung (VdW) auf Mineraleigenschaften zu untersuchen. Idealer Nontronit dient als Beispiel eines eisenhaltigen Minerals, um die Modellierung von Eisenionen in Smektiten zu erproben. Der Vergleich der Van-der-Waals-Methoden PBE-D3, optPBE-VdW, optB88-VdW und VdW-DF2 zeigt, dass Gitterparameter von Tonmineralen durch Berücksichtigung von VdW-Korrekturen besser beschrieben werden als mit einem konventionalen GGA-Funktional (hier PBE). Lediglich für wasserfreien Montmorillo-

nit wird der c-Vektor deutlich unterschätzt, was möglicherweise durch Restwasser in experimentellen Proben bedingt sein kann. Für Nontronit zeigt sich, dass eine gute Beschreibung von Fe-Gitterionen nur durch Korrektur von Selbstwechselwirkungsfehlern möglich ist. Hierfür wurde die DFT+U-Methode eingesetzt und der U-Parameter auf 4 eV gesetzt. Mit Hilfe dieser Methode wird die Gitterstruktur von Nontronit so gut wie für andere Tonminerale berechnet. Auch eine endliche Bandlücke ergibt sich nur mit der DFT+U-Methode.

Untersuchungen zu Eigenschaften und Verteilung von oktaedrischen Fe^{3+} -Substitutionen in Tonmineralen (AP2) wurden für Pyrophyllit und Montmorillonitmodelle mit den Schichtladungen $-0.25 e$ und $-0.125 e$ unternommen. Wie zu erwarten sind verschiedene Gitterpositionen der oktaedrischen Eisensubstitution in Pyrophyllit entartet, während in Montmorillonit eine schwache abstoßende Wechselwirkung von bis zu 12 kJ/mol mit benachbarten Mg^{2+} -Ionen beobachtet wird, wenn diese sauerstoffverbrückt sind. Mg-Fe-Substitutionspaare mit OH-Verbrückung sind jedoch energetisch möglich. Ebenso sind benachbarte Eisenionen um bis zu 10 kJ/mol ungünstiger als verteilte. Eine Kette von Eisenionen sowie Inseln aus vier Eisenionen in Montmorillonit erwiesen sich als bis zu 20 kJ/mol ungünstiger. Diese ersten Ergebnisse sprechen gegen eine Segregation von Eisenionen in Smektiten. Der formale Austausch von Al^{3+} durch Fe^{3+} , bezogen auf die entsprechenden solvatisierten Ionen, ist für Eisen mit etwa 160 kJ/mol deutlich exotherm.

Für einige Modellsysteme wurden auch die Schwingungsfrequenzen der Hydroxylgruppen in Pyrophyllit und Montmorillonit berechnet, um den Einfluss der Eisensubstitution zu charakterisieren. Im Vergleich zu OH-Gruppen, die Al-Ionen verbrücken, führt Fe-Substitution in Übereinstimmung mit bisherigen Kenntnissen zu einer Absenkung der Frequenz, während für Mg-Substitutionen eine höhere Frequenz benachbarter OH-Gruppen berechnet wird. Weiterhin sinkt die Schwingungsfrequenz mit steigender Schichtladung und wird auch von nah benachbarten Zwischenschicht Ionen beeinflusst. Diese Effekte erschweren eine einfache Zuordnung gemessener Schwingungsfrequenzen zu Strukturelementen.

Erste Modellierungen anhand der Kantenfläche (010) deuten darauf hin, dass sowohl Eisen als auch Magnesiumsubstitutionen an dieser Oberfläche energetisch günstiger sind als im Festkörper (AP3).

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Charakterisierung von Referenzmineralen;
 AP2: Eisensubstitutionen in Smektiten;
 AP3: Eisensubstitutionen an Smektitoberflächen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Stefan Kienzle: Density functional modeling of iron substituted 2:1 clay minerals and their surfaces. Diplomarbeit, TU München, 2015

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe		Förderkennzeichen: 02 E 11355
Vorhabensbezeichnung: Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (Expander)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement ..., Feld 5.2, Wirtsgestein: unabhängig		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2015 bis 31.08.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 197.148,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schultmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Herausforderungen der Allokation beständiger Gefahrgüter am Beispiel der Endlagerung radioaktiven Abfalls über wirtschaftswissenschaftliche Laborexperimente besser zu verstehen, Ansätze für eine Lösung dieses gesellschaftlichen Dilemmas zu identifizieren und (wirtschafts-)politische bzw. strategische Empfehlungen abzuleiten. Erstmals soll das Problem gezielt in einer Serie von Laborstudien untersucht und sowohl theoretisch als auch empirisch fundierte Lösungsansätze zur Bewältigung der Herausforderungen im Prozess der Endlagersuche erarbeitet werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das vorliegende Forschungsvorhaben lässt sich als iterativer Prozess verstehen. Ausgehend von einem intensiven Studium der Literatur bezüglich vorheriger Laborexperimente und der Evaluation möglicher Experimentdesigns in Expertengesprächen wird ein grundlegendes Basisdesign entworfen, das im Laufe des Projekts unterschiedlich variiert wird. Jeder Schritt der erneuten Variation der zu beobachtenden Variablen (sog. Treatmentvariablen) geht somit auf eine begleitende Diskussion mit Experten und eine Literaturrecherche zurück. Damit kann für jede Untersuchungseinheit bzw. für jeden Analyseschritt die externe Validität gewährleistet werden.

Das Projekt gliedert sich damit in zwei Phasen. Zum einen wird die Entwicklung eines Basisdesigns fokussiert, zum anderen wird dieses Design im weiteren Verlauf gezielt angewandt und variiert.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aufbauend auf den ersten Arbeitspaketen wurde im zweiten Halbjahr 2015 die Vorbereitung und Durchführung der Interviews vorangetrieben. Diese Gespräche sollen im Laufe des Projekts mit VertreterInnen der Stakeholder-Gruppen „Politik“, „Wissenschaft“, „Energieversorger“, „Bürgerinitiativen“ und „Nichtregierungsorganisationen“ durchgeführt werden und die Hypothesenwahl unterstützen. Der Fokus bei der Auswahl der Gesprächspartner liegt zunächst den in der Endlagerkommission vertretenen Parteien und Gruppen. Bis Januar 2016 wurden zwölf Interviews durchgeführt.

Darüber hinaus wurde der methodische Kern des Projekts über ein Experimentdesign bestimmt. Es wurde ein grundlegender Mechanismus zur Verteilung risikobehafteter Güter unter Berücksichtigung unterschiedlicher Standorteigenschaften in einem 3-Spieler-Modus gewählt (Multilateral Bargaining). Der Ablauf folgt weitestgehend einem klassischen Verhandlungsspiel nach dem sogenannten Rubinstein-Protokoll und wurde vor dem Hintergrund der Endlagersuche an entscheidenden Punkten angepasst. Die erste Durchführung im Sinne einer Benchmark-Lösung erfolgt im Frühjahr 2016 in einer umfangreichen Experimentserie.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Implementierung und Durchführung der Experimentdesigns steht im Frühjahr 2016 klar im Mittelpunkt des Projekts. Gleichzeitig wird die erste Runde der Expertengespräche abgeschlossen und um Befragte aus den Gruppen „Bürgerinitiativen“ und „Nichtregierungsorganisationen“ ergänzt. Die Ergebnisse der Experimente werden zusammengefasst und interpretiert. Dabei wird auch auf die Validität der Aussagen und die Bewertung der Methodik hinsichtlich des Projektziels eingegangen. Zudem beinhaltet dies eine verstärkte Arbeit an der Publikation der Ergebnisse auf ausgewählten Konferenzen und gegebenenfalls Journalen.

Im zweiten Halbjahr 2016 werden vergleichende Arbeiten zwischen alle Treatments angestrebt und für die unmittelbare Schlüsse und Implikationen für die realen Prozesse vorbereitet. Ein besonderer Fokus wird dabei auf die wirtschaftspolitische Empfehlung gelegt. Die sprachliche Gestaltung wird bewusst so gehalten, dass alle Stakeholder der Standortsuche in Deutschland die Ergebnisse verstehen und verwenden können.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11365
Vorhabensbezeichnung: Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2015 bis 31.05.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 827.281,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Ermittlung der Löslichkeitsgrenzen für Spalt- und Aktivierungsprodukte in salzhaltigen Wässern von norddeutschen Unterkreideton- und Steinsalzformationen
- Entwicklung von theoretischen Methoden zur Ableitung thermodynamischer Größen für Spalt- und Aktivierungsprodukte
- Abbau der Ungewissheiten in Bezug auf die geochemischen Eigenschaften dieser chemischen Elemente und Verbesserung der Belastbarkeit von Ergebnissen von geochemischen Modellrechnungen

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Auswertung von Korrosionsexperimenten an radioaktiven Abfällen
- Ermittlung von Bandbreiten für die Zusammensetzungen salzhaltiger Lösungen im Endlager
- Experimentelle Ermittlung maximaler Lösungskonzentrationen
- Ermittlung thermodynamischer Größen durch Schätzverfahren
- Geochemische Modellierung der Radionuklidkonzentration im Nahfeld
- Ableitung von Löslichkeitsgrenzen
- Überprüfung der Auswirkung neuer oder aktualisierter Löslichkeitsgrenzen auf die Ergebnisse von Langzeitsicherheitsanalysen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Für die vorgesehenen Löslichkeitsversuche werden für die ausgewählten Elemente und Oxidationsformen Festphasen benötigt, die unter den jeweiligen chemischen Randbedingungen wahrscheinlich löslichkeitsbestimmend sind. Hierzu wurden Prognosen zur geochemischen Nahfeldentwicklung von Endlagern verschiedener europäischer und außereuropäischer Projekte ausgewertet und mit Erkenntnissen aus der allgemeinen chemischen Literatur verglichen.

In einigen Fällen ist davon auszugehen, dass die bisher angenommenen Festphasen in einem realen System nicht löslichkeitsbestimmend wären. In den für die Prognosen zugrundeliegenden thermodynamischen Datenbasen werden häufig Phasen aufgeführt, die zwar thermodynamisch am stabilsten sind, sich aber aus wässrigen Lösungen bei Temperaturen unter 100 °C nicht bilden. Ein Beispiel ist das bislang nicht berücksichtigte hydratwasserhaltige Nickelcarbonat Hellyerite, das sich in carbonathaltigen Wässern wahrscheinlich anstelle des stabileren wasserfreien NiCO_3 bildet.

Für halitgesättigte Systeme wurden löslichkeitsbestimmende Festphasen identifiziert, beschafft und zum Teil auch neu synthetisiert. Es stehen noch Synthesen für einige Feststoffe aus, die besonders gehandhabt werden müssen (Sauerstoffausschluss, Lichtausschluss).

Die Lösungsentwicklung in einem Endlager im Steinsalz (begrenzt internes Lösungsvorkommen ohne Kontakt zum Deckgebirge) wurde entlang von verschiedenen Ereignisabläufen systematisiert. Es wurden grundlegende Entwicklungsabfolgen identifiziert, die jeweils typischen Lösungszusammensetzungen entsprechen.

Im Fokus der Sichtung von Literatur zur Chemie der Tiefenwässer in norddeutschen Unterkreidetonformationen stehen Analysen aus Tiefbohrungen im Norddeutschen Becken. Für tiefe kompakte Tonformationen der Unterkreide liegen nach bisheriger Kenntnis bislang keine Lösungszusammensetzungen vor, weder auf der Basis direkter Messungen noch auf der Basis von modelltheoretischen Ableitungen. Die u. a. im Rahmen von Geothermie- und CO_2 -Projekten dokumentierte Zusammensetzung von Wässern aus Unterkreideformationen beschränkt sich auf saline Lösungen aus Sandsteinhorizonten und Kluftstrukturen. Inwieweit die Porenlösungen der umgebenden Tonformationen von diesen Wässern beeinflusst wurden, lässt sich gegenwärtig nicht quantitativ abschätzen. Dass es gegenüber der ursprünglichen Zusammensetzung (Meerwasser) zu Änderungen auch im Bereich von Hundert Meter kommen kann, zeigen die Erkenntnisse zur Variation der Chloridkonzentration in der Opalinustonformation in Mont Terri (Schweiz).

4. Geplante Weiterarbeiten

Beendigung der Literaturstudie zu Lösungszusammensetzung tiefer Unterkreidetonformationen. Zusammenstellung von Daten zu potentiell auftretenden Lösungszusammensetzungen in Steinsalzlagerstätten. Beginn der Versuche zur Bestimmung der Löslichkeit von Spaltelementen in ausgewählten salinaren Lösungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11375A	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt A			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2, Wirtsgestein: Kristallin			
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 30.06.2016		Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 107.692,00 EUR		Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Zuge des Vorhabens soll die Übertragbarkeit der Sicherheitsanforderungen (BMU, 2010) für einen Sicherheitsnachweis in Kristallingestein geprüft werden. Das erfordert in erster Linie die Prüfung der Anwendbarkeit des sogenannten „ewG-Konzeptes“ für kristalline Gesteine. Inwieweit das „ewG-Konzept“ prinzipiell auf diesen Gesteinstyp übertragbar bzw. adaptierbar ist und wie dann eine Integritätsanforderung zu formulieren ist, soll geklärt werden. Hinsichtlich der Integritätsanalyse wird dazu die grundsätzliche Frage diskutiert, welche Bedeutung dem Integritätsbegriff für die Beschreibung der Barrierewirkung eines potenziell geklüfteten Gesteins zukommen kann und ob sich Kriterien für die Bewertung der Integrität daraus ableiten lassen.

Darüber hinaus soll geprüft werden, ob, und wenn ja, inwieweit bestehende Behälter-, Einlagerungs- und Verschlusskonzepte ausländischer Endlagerinstitutionen (speziell das KBS-3 Konzept der Schweden und Finnens) auf deutsche Verhältnisse übertragen bzw. angewendet werden könnten. Abschließend sollen die Grundlagen zur Entwicklung einer Nachweismethodik zusammengestellt werden. Dies bezieht sich auf die bisherigen Kenntnisse über die in Deutschland möglicherweise in Frage kommenden Kristallinvorkommen und den diesbezüglichen Informationsstand sowie auf die Anwendbarkeit der numerischen Werkzeuge für die Analyse der Integrität und der radiologischen Auswirkungen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagen für die Formulierung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes im Kristallingestein
- AP2: Prüfung der Übertragbarkeit des KBS-3-Konzeptes (Behälter, Einlagerungskonzept, Barrierenkonzept)
- AP3: Synthese bisheriger Untersuchungen im Kristallingestein
- AP4: Bewertung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde im Rahmen des Arbeitspaketes 1 damit begonnen, zu prüfen, inwieweit das „ewG-Konzept“ prinzipiell auf kristalline Gesteine übertragbar bzw. adaptierbar ist und ob, und wenn ja, wie dann eine Integritätsanforderung zu formulieren ist. Grundlage der Diskussion sind zum einen die beiden in den Sicherheitsanforderungen spezifizierten Anforderungen zur Verhinderung von sekundären Wasserwegsamkeiten innerhalb des ewG und der Forderung, dass das Porenwasser nicht am hydrogeologischen Kreislauf im Sinne des Wasserrechts außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) teilnehmen darf. Zum anderen ist es die Definition des ewG als Teil des Endlagersystems.

Im Gegensatz zu der Definition des AKEnd verzichten die Sicherheitsanforderungen in der Definition auf die Nennung der geologischen Barriere und betrachten den ewG ohne weitere Spezifizierung als „Teil des Endlagersystems“. Die Definition wird hier so aufgefasst, dass der ewG zwingend einen Teil der natürlichen geologischen Barriere einschließen muss. Die Ausweisung eines ewG, der neben den technischen Verschlüssen nur auf weiteren künstlich hergestellten Barrieren (z. B. einem Buffer) beruht, wird als nicht zulässig angesehen und widerspricht auch dem Begriff „Gebirgsbereich“. Bei der räumlichen Ausweisung des ewG wird unterstellt, dass die Sicherheitsanforderungen dem Antragsteller eine möglichst große Flexibilität einräumen wollen, d. h. unter anderem, dass es innerhalb der Wirtsgesteinsformation mehrere voneinander getrennte ewG-Bereiche geben kann und auch die Größe des ewG nicht eingeschränkt ist, solange nicht fundamentale Sicherheitsprinzipien verletzt werden. So ist z. B. eine Ausweisung eines ewG bis an die Erdoberfläche voraussichtlich nicht mit den in den Sicherheitsanforderungen dargelegten Sicherheitsprinzipien in Einklang zu bringen. Nicht ausgeschlossen ist jedoch die Möglichkeit, mehrere ewGs auszuweisen. Es ist durchaus denkbar, dass es in kristallinen Gesteinen Bereiche gibt, die zwar mineralisierte Klüfte besitzen, aber nicht mit hydraulisch aktiven Klüften durchzogen sind. Hydraulisch aktive Klüftzonen könnten beispielsweise als Ränder für einschlusswirksame Gebirgsbereiche fungieren, die je nach Lokation unterschiedliche Ausdehnungen haben können. Als Arbeitshypothese wurde deshalb der Begriff des „Multiplen ewG“ eingeführt. Es wird derzeit geprüft, ob das auf Basis der Sicherheitsanforderungen ein sinnvoller und gangbarer Weg wäre.

4. Geplante Weiterarbeiten

Prüfung der Übertragbarkeit bestehender Konzepte aus anderen Ländern:

- Behälterkonzepte
- Einlagerungskonzepte
- Barrierenkonzepte

Synthese bisheriger Untersuchungen in kristallinen Gesteinen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11375B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2, Wirtsgestein: Kristallin		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 30.06.2016	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 118.100,00 EUR	Projektleiter: Dr. Becker	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aufgrund der Neuausrichtung der Suche nach einem Standort für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle kommen den Wirtsgesteinen Salz, Tonstein und Kristallin Bedeutung zu. Um einen objektiven Vergleich von Endlagersystemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen durchführen zu können, müssen entsprechende Grundlagen vorhanden sein. In den Sicherheitsanforderungen des BMU ist das sogenannte „ewG-Konzept“ verankert, das besagt, dass vom Antragsteller ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) ausgewiesen werden muss, der im Zusammenwirken mit den technischen Verschlüssen den Einschluss der Abfälle über den Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren sicherstellt. Die Sicherheitsanforderungen schließen Kristallingesteine nicht explizit aus; trotzdem ist es offensichtlich, dass dieses Konzept auf die Wirtsgesteine Salz und Tonstein fokussiert ist. Die Integrität von Kristallingesteinen kann per se durch Kluftsysteme eingeschränkt sein. Inwieweit das „ewG-Konzept“ auf diesen Gesteinstyp übertragbar bzw. adaptierbar ist, ist derzeit nicht geklärt. Als erstes Teilziel des Vorhabens soll deshalb die Übertragbarkeit der Sicherheitsanforderungen auf ein mögliches Endlager im Kristallingestein geprüft werden. Als zweites Teilziel soll geprüft werden, inwieweit bestehende Endlagerkonzepte ausländischer Endlagerinstitutionen auf deutsche Verhältnisse übertragen bzw. angewendet werden können. Als drittes Teilziel sollen die Grundlagen zur Entwicklung einer Nachweismethodik zusammengestellt werden. Als viertes Teilziel soll geprüft werden, ob die verfügbaren numerischen Werkzeuge für die Analyse der Integrität und der radiologischen Auswirkungen eines Endlagersystems in einem geklüfteten Medium in Deutschland anwendbar und geeignet sind.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten des Verbundprojekts sind in vier Arbeitspakete gegliedert:

AP1: Grundlagen für die Formulierung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes im Kristallingestein (Federführung GRS)

Task 1.1: Anwendbarkeit der Bedingungen aus den Sicherheitsanforderungen. Es ist zu klären, ob und wie das ewG-Konzept sinngemäß auf Kristallingestein übertragbar ist und welches die wesentlichen Elemente eines Sicherheitskonzeptes im Kristallingestein im Sinne der Sicherheitsanforderungen des BMU sind.

Task 1.2: Bedeutung des Integritätsbegriffs in potenziell geklüfteten Gesteinen. Es ist die grundsätzliche Frage zu diskutieren, welche Bedeutung dem Integritätsbegriff für die Beschreibung der Barrierewirkung eines potenziell geklüfteten Gesteins zukommen kann und welche Kriterien für die Bewertung der Integrität sich daraus ableiten lassen.

Task 1.3: Anwendbarkeit vorhandener Berechnungstools. Anhand von Beispielrechnungen ist zu prüfen, inwieweit die bisherigen Tools zur numerischen Berechnung und Bewertung sowohl der Integrität der geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren als auch der radiologischen Konsequenzenanalyse anwendbar sind.

AP2: Prüfung der Übertragbarkeit des KBS-3-Konzeptes (Federführung DBETEC)

Task 2.1: Behälterkonzept. Es wird geprüft, inwieweit das KBS-3-Behälterkonzept vor dem Hintergrund des Deutschen Abfallinventars und der endzulagernden MOX-Brennstäbe angewendet werden kann.

Task 2.2: Einlagerungskonzept. Es wird qualitativ geprüft, inwieweit das KBS-3-Einlagerungskonzept vor dem Hintergrund des Deutschen Abfallinventars, des Raumbedarfs und der geologischen Gegebenheiten angewendet werden kann.

Task 2.3: Barrierenkonzept. Es wird qualitativ geprüft, inwieweit das KBS-3-Barrierenkonzept vor dem Hintergrund des Deutschen Abfallinventars und der geologischen Gegebenheiten angewendet werden kann.

AP3: Synthese bisheriger Untersuchungen im Kristallingestein (Federführung BGR)

Task 3.1: Zusammenfassung Kristallinvorkommen in Deutschland. Der Kenntnisstand zur Geologie der Kristallinvorkommen in Deutschland (GEISHA, Kristallin-Studie) wird so zusammengefasst, dass die Fragen im Arbeitspaket 1 (Task 1.1) bestmöglich geklärt werden können.

Task 3.2: Durchgeführte Standorterkundungs- und Forschungsarbeiten im Bereich Endlagersicherheit. Dieser Task hat zum Ziel, eine Synthese der bisherigen Untersuchungen der Verbundpartner im Kristallingestein zu bilden.

AP4: Bewertung und Dokumentation (Federführung DBETEC)

Task 4.1: Bewertung der Sicherheits- und Nachweisgrundlagen. In diesem Task soll diskutiert und bewertet werden, wie die Grundlagen zur Durchführung eines Projektes analog ISIBEL oder ANSICHT beschaffen sind und welche Erfolgsaussichten bestehen.

Task 4.2: Dokumentation der Ergebnisse.

GRS ist im Rahmen des hier dokumentierten Teilprojekts B an allen vier Arbeitspaketen beteiligt, der Schwerpunkt der Arbeiten liegt jedoch auf AP1.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Verbundprojekt stand im Berichtszeitraum das AP1 im Vordergrund. Im Rahmen von Task 1.1 wurde die Anwendbarkeit der Sicherheitsanforderungen des BMU auf ein Endlager im Kristallin analysiert.

Bezüglich der Lage eines Endlagers in einer Kristallingesteinsformation und der Anordnung seiner Komponenten wurden mehrere denkbare Konfigurationen betrachtet. Da in allen in Frage kommenden Formationen mit dem Vorhandensein eines hydraulisch leitfähigen Kluftsystems zu rechnen ist, kann dem ewG-Gedanken nur bei vorhandener großräumiger Überdeckung mit einer barrierewirksamen Gesteinsschicht (Typ Bb) oder durch Aufteilung des Endlagers in mehrere, voneinander hydraulisch isolierte und jeweils kluftfreie Teilbereiche (Typ M) Rechnung getragen werden. Die angestellten Überlegungen wurden zusammen mit Aspekten zur Integrität des ewG in einem internen Bericht zu AP1 dokumentiert und mit den Verbundpartnern diskutiert.

Die Handhabbarkeit der beiden Konfigurationstypen Bb und M im Hinblick auf numerische Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit mithilfe des vorhandenen Instrumentariums soll anhand zweier einfacher generischer Rechenfälle exemplarisch überprüft werden. Diese Rechenfälle wurden geplant.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Rechenfälle zu den Konfigurationstypen Bb und M werden mittels des bei der GRS verfügbaren Instrumentariums – die Module CLAYPOS und GeoTREND-FRAME des Programmpakets RepoTREND – modelltechnisch umgesetzt und durchgerechnet.

Die Planung der weiteren Arbeiten in AP2 bis AP4 des Verbundprojekts stehen unter Federführung andere Organisationen. Bezüglich der geplanten Arbeiten wird auf die von diesen zu erstellenden Halbjahresberichte verwiesen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 11385
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.4, Wirtsgestein: unabhängig	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 549.185,00 EUR	Projektleiter: Jobmann

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Zuge des Vorhabens soll zunächst die Entwicklung von Monitoring-Konzepten für Endlager in einer Tonformation in Deutschland verfolgt werden. Diese Monitoring-Konzepte soll entwickelt werden auf der Basis des Monitoring Workflows, der im Rahmen des internationalen MoDeRn-Projektes erarbeitet wurde. Ein Monitoring-Konzept soll so ausgerichtet sein, dass es möglich ist, im Zusammenspiel mit dem Einlagerungskonzept bzw. der zeitlichen Abfolge der Einlagerung, die Möglichkeiten und Grenzen einer Überwachung nach Verschluss des Endlagers noch während der Betriebsphase zu bewerten. In Ergänzung dazu werden in analogerer Weise auch die konzeptionellen Überlegungen zum Monitoring eines Endlagers in einer Steinsalzformation aus dem MoDeRn Projekt weiter entwickelt.

Ein weiteres Teilziel ist die Entwicklung von sogenannten „Trigger Values“. Das sind Werte von Messgrößen oder zeitliche Entwicklung von Messgrößen, die, wenn sie erreicht werden, darauf hindeuten, dass das Endlagersystem möglicherweise nicht mehr der erwarteten Entwicklung also dem „Referenzszenario“ entspricht. Abschließend sollen mögliche Handlungsoptionen bei Erreichen von „Trigger Values“ erarbeitet werden sowie eine Einschätzung bzgl. der Effektivität eines Monitorings nach Verschluss des Endlagers. Aktuelle Arbeiten und Ergebnisse des Vorhabens sollen auf entsprechenden internationalen Workshops präsentiert und diskutiert werden, um eine möglichst breite internationale Akzeptanz der Konzeptionen zu erzielen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Weiterentwicklung Monitoring-Konzept für Endlager im Steinsalz
- AP2: Neuentwicklung Monitoring-Konzepte für Endlager im Tonstein
- AP3: Erzeugung synthetischer Monitoring-Ergebnisse und Ableitung von „Trigger Values“ für einzelne Endlagerkomponenten
- AP4: Handlungsoptionen bei Erreichen von „Trigger Values“ und offene Fragen
- AP5: Dokumentation der Ergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, die Rahmen- und Randbedingungen für die Entwicklung von Monitoring-Konzepten zusammenzustellen. Als Randbedingung wurde vorgeesehen, eines der Endlagerkonzepte aus dem parallel laufenden Forschungsvorhaben ANSICHT zu verwenden, im Rahmen dessen ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager in einer Tonformation in Deutschland entwickelt wird. Im dortigen Endlagerstandortmodell NORD wird die Option vertikale Bohrlochlagerung verwendet. Das Endlager besteht aus insgesamt 45 Einlagerungsfeldern zuzüglich des Infrastrukturbereiches mit zwei Schächten. In jedem Einlagerungsfeld befinden sich 9 Einlagerungsstrecken mit jeweils 11 vertikalen Einlagerungsbohrungen. Gemäß dem Verfüll- und Verschlusskonzept wird mit der Einlagerung in dem am weitesten vom Schacht entfernten Feld angefangen. Nach Beladung eines Bohrloches wird dieses mit einem Bohrlochverschluss versiegelt und der Bereich der Einlagerungsstrecke über diesem Bohrloch mit Versatz verfüllt. Bei einem solchen Vorgehen hat man es planungsgemäß mit einem Endlager zu tun, das kontinuierlich während der gesamten Dauer der Betriebsphase sukzessive verschlossen wird. Ein Monitoring-Konzept muss diesem Betriebsablauf angepasst werden. Bisherige Überlegungen sehen vor, das äußerste und damit erste Einlagerungsfeld als ein sogenanntes „Monitoring-Feld“ zu selektieren. Nach Beladung und Verfüllung des ersten Feldes wird dieses mit einem kleinen Streckenverschluss versiegelt. Monitoring-Systeme, die in diesem Feld parallel zur Einlagerung installiert wurden, wären in der Lage, während der folgenden Jahrzehnte der Betriebsphase Informationen aus einem bereits verschlossenen Bereich zu liefern. Dies würde quasi die Möglichkeit bieten, noch während der Betriebsphase eine Endlagerüberwachung in der Nachverschlussphase zu simulieren und damit zu bewerten, ob, und wenn ja, in welcher Form Monitoring-Daten in einer Nachverschlussphase sinnvoll und hilfreich sein könnten.

Diese grundlegenden Überlegungen wurden auf einem ersten internationalen Monitoring-Workshop in Stockholm (01.-03.12.2015) präsentiert und diskutiert. Auf diesem Workshop wurden Strategien zur Entwicklung von Monitoring-Konzepten aus verschiedenen europäischen Ländern vorgestellt und diskutiert. Insbesondere die Möglichkeiten der Nutzung von Monitoring-Ergebnissen als Hintergrundinformation für Entscheidungsprozesse wurden erörtert. Die Diskussionsergebnisse sollen in einem Workshop-Bericht dokumentiert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Entwurf eines Monitoring-Konzeptes für ein Einlagerungsfeld (Bohrlochlagerung)
- Entwurf eines Monitoring-Konzeptes für die kleinen Streckenverschlüsse am Rand der einzelnen Einlagerungsfelder.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 11395
Vorhabensbezeichnung: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 363.017,00 EUR	Projektleiter: Kühnlenz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Standortauswahlgesetz (StandAG 2013) sieht die Untersuchung aller in Deutschland für die Errichtung eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle in Frage kommenden Wirtsgesteine vor. Daraus ergibt sich unter anderem die Notwendigkeit der detaillierten geowissenschaftlichen Bearbeitung der in Deutschland existierenden flach lagernden Salzvorkommen. Ein methodischer Ansatz für ein Sicherheits- und Nachweiskonzept im Wirtsgestein Steinsalz wurde schon für den Lagerstättentyp steile Lagerung im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben (VSG) entwickelt. Das Vorhaben KOSINA knüpft an die Ergebnisse aus der VSG an und hat zum Ziel, ein standortunabhängiges Konzept für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland zu entwickeln sowie ein Sicherheits- und Nachweiskonzept zu entwickeln und zu überprüfen. Das Konzept wird für jeweils ein generisches geologisches 3D-Modell für den Typ „flache Lagerung“ und den Typ „Salzkissen“ erarbeitet. Auf der Basis dieser geologischen Modelle und von speziell recherchierten Modellparametern wird das Bergwerkskonzept entwickelt und Auslegungsrechnungen sowie geomechanische Modellberechnungen für eine Integritätsanalyse der geologischen Barriere werden durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagenermittlung (DBE TEC)
- AP2: Erstellung von generischen geologischen Modellen, Ableitung von Modellparametern (BGR und IfG)
- AP3: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (GRS)
- AP4: Analyse der geomechanischen Integrität (BGR und IfG)
- AP5: Entwicklung von Endlagerkonzepten (DBE TEC)
- AP6: Analyse der radiologischen Konsequenzen (GRS)
- AP7: Bewertung der Betriebssicherheit (DBE TEC)
- AP8: Synthesebericht (DBE TEC)

Die BGR ist gemeinsam mit IfG federführend für die AP2 und AP4 zuständig und weiterhin am AP6 beteiligt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Für die Realisierung des Vorhabens mussten zuerst im Rahmen von AP1 die Grundlagen ermittelt und zusammengestellt werden. Unter anderem wurde von der BGR zusammen mit IfG der Kenntnisstand zur räumlichen Verbreitung der flach lagernden Steinsalzfolgen in Deutschland, zu ihrer lithologischen Zusammensetzung sowie zu den geologischen Lageungsverhältnissen zusammengefasst. Dies bildet die Basis für die Erstellung der generischen geologischen 3D-Modelle.

Entsprechend der im Rahmen des Projektes festgelegten Reihenfolge wird zunächst das generische geologische Modell für den Typ „flache Lagerung“ erstellt. Als Grundlage für die Erstellung des 3D-Modells wurde ein Referenzprofil mit einer typischen stratigraphischen Schichtenabfolge aus den in Deutschland beschriebenen Gegebenheiten in den Regionen mit flach lagernden Salzschichten abgeleitet. Ebenso wurden ein generischer geologischer Schnitt sowie drei senkrecht dazu verlaufende geologische Schnitte für das 3D-Modell Typ „flache Lagerung“ erstellt. Diese Schnitte stellen die Grundlage für die räumliche Positionierung des Endlagers und anschließend für die Festlegung der Größe des Modellgebiets dar. Bei der Erstellung der Schnitte wurden die in anderen Studien empirisch abgeleiteten Mindestanforderungen zur Tiefenlage und Barrierenmächtigkeit zugrunde gelegt.

Ein unter Federführung von DBETec gemeinsam mit allen beteiligten Projektpartnern erstellter Zwischenbericht zu den ersten Ergebnissen liegt dem Projektträger und dem BMWi vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung des generischen geologischen 3D-Modells für den Typ „flache Lagerung“ und anschließend, in Analogie dazu, für den Typ „Salzkissen“
- Zusammenstellung und Begründung der geologischen Randbedingungen und geomechanischen Modellparameter für die numerischen Modellrechnungen
- Entwicklung der geomechanischen Modelle für die thermomechanischen Simulationsberechnungen mit dem Ziel die angesetzten Mindestbarrierenmächtigkeiten unter den zu erwartenden thermomechanischen Belastungen zu verifizieren
- Kalibrierung der Berechnungsmodelle zur Integritätsanalyse an Versagensfällen geologischer Barrieren durch fluiddruck-getriebene Perkolationsentlang diskreter Fließwege im Salzgestein

5. Berichte, Veröffentlichungen

DBETec unter Beteiligung von BGR: Fahland, S.; Hammer, J.; Heusermann, S.; Kühnlenz, T.; Mrugalla, S.; Reinhold, K.; DBETEC: Bertrams, N.; Bollingerfehr, W.; Dörr, S.; Filbert, W.; Simo, E.; GRS: Buhmann, D.; Kindlein, J.; Mönig, J.; Wolf, J.; IfG: Minkley, W.; Popp, T. (2015): Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes. Zwischenbericht.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11405A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 550.199,00 EUR	Projektleiter: Bollingerfehr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, erstmalig ein technisches (standortunabhängiges) Konzept für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente auf der Grundlage generischer geologischer Modelle für flach lagernde Steinsalzformationen zu entwickeln. Dies soll auch die Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein solches Endlager einschließen. Das erste Teilziel ist die Herleitung von generischen geologischen Modellen inklusive Modellparametern als Grundlage für die Grubengebäudekonzeption und Auslegungsberechnungen. Das zweite und dritte Teilziel sind die Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes sowie die Entwicklung von technischen Konzepten für Endlagerbergwerke für vier verschiedenen Einlagerungsvarianten. Das vierte Teilziel ist die Überprüfung der Ausweisbarkeit eines einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (Integritäts- und Konsequenzenanalyse für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in der flachen Lagerung). Insgesamt werden mit dem Vorhaben technisch-wissenschaftliche Grundlagen geschaffen für eine sicherheitstechnische Bewertung von Endlagersystemen in unterschiedlichen geologischen Formationen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagen ermitteln und zusammenstellen
- AP2: Erstellung von generischen geologischen Modellen, Ableitung von Modellparametern
- AP3: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes
- AP4: Analyse der geomechanischen Integrität
- AP5: Entwicklung von Endlagerkonzepten
- AP6: Analyse der radiologischen Konsequenzen
- AP7: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP8: Synthesebericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen der Grundlagenermittlung (AP1) wurde das Abfallmengengerüst für wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente zusammengestellt, die dafür in Betracht kommenden Endlagerbehälter ausgewählt sowie die Anzahl der Abfallgebinde mit Gesamtmasse /-volumina ermittelt. Entsprechende Untersuchungsergebnisse aus der Vorläufigen Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben und Daten aus dem Nationalen Entsorgungsprogramm des BMUB wurden diesen Ermittlungen zugrunde gelegt. Weiterhin wurden zur Vorbereitung der vorgesehenen Planung von vier unterschiedlichen Endlagerkonzepten in AP5 (zwei unterschiedliche Einlagerungsvarianten für jeden der beiden betrachteten geologischen Typen „Salzkissen“ und „flache Lagerung“) die Anforderungen zur Endlagerkonzeptentwicklung hergeleitet und zusammenfassend beschrieben. Diese beinhalten sowohl die relevanten Anforderungen aus den "Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle" vom BMU aus 2010 als auch die Anforderungen aus dem deutschen Bergrecht, aus dem deutschen Atomrecht respektive der Strahlenschutzverordnung sowie auch Anforderungen aus dem im Vorhaben KOSINA zu entwerfenden Sicherheitskonzept. Aus dem Sicherheitskonzept ergeben sich z. B. quantitative Anforderungen an die technische Auslegung des Endlagerbergwerks, vor allem hinsichtlich der Mindestabstände des Grubengebäudes zu den das Endlagerbergwerk umgebenden Salzschieben und der Einlagerungsbereiche zu den Schächten. Als Dokumentation des erreichten Arbeitsstandes wurde federführend durch die DBETEC gemeinsam mit den Partnern BGR, GRS und IfG planmäßig zum Ende 2015 ein ausführlicher Zwischenbericht erarbeitet, der veröffentlicht werden soll.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt im kommenden Berichtszeitraum im AP5 "Entwicklung von Endlagerkonzepten". Die Konzeptentwicklung konzentriert sich zunächst auf die Einlagerungsvarianten "Direkte Einlagerung von Transport- und Lagerbehältern (TLB), einzeln in horizontalen Kurzbohrlöchern" sowie "Bohrlochlagerung von jeweils mehreren rückholbaren Kokillen für Wiederaufarbeitungsabfälle und ausgediente Brennelemente in längeren horizontalen Bohrlochern" für den geologischen Typ "flache Lagerung". Dazu werden thermische Auslegungsberechnungen durchgeführt, Grubengebäudeplanungen erstellt, die notwendige Transport- und Einlagerungstechniken sowie entsprechende Verfüll- und Versatzverfahren konzipiert. Während bei der Variante TLB teilweise auf Ergebnisse aus vorlaufenden Arbeiten für die Industrie zurückgegriffen werden kann, wird bei der Variante horizontale Bohrlochlagerung in längeren Bohrlochern Neuland betreten. Weiterhin werden planerische Vorbereitungen getroffen für die Konzeptentwicklung der Einlagerungsvarianten Streckenlagerung und vertikale Bohrlochlagerung in dem geologischen Typ "Salzkissen".

5. Berichte, Veröffentlichungen

DBETEC (2015). Unter Beteiligung von BGR: S. Fahland, J. Hammer, S. Heusermann, T. Kühnlenz, S. Mrugalla, K. Reinhold; DBETEC: N. Bertrams, W. Bollingerfehr, S. Dörr, W. Filbert, E. Simo; GRS: D. Buhmann, J. Kindlein, J. Mönig, J. Wolf; IfG: W. Minkley, T. Popp: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA). - Zwischenbericht -

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11405B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 525.090,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kindlein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, ein technisches, standortunabhängiges Konzept für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente auf der Grundlage generischer geologischer Modelle für flach lagernde Steinsalzformationen zu entwickeln. Dies schließt auch die Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein solches Endlager sowie die Überprüfung und Anwendung der vorhandenen Instrumentarien für die Sicherheitsanalyse ein. Damit soll eine technisch-wissenschaftliche Grundlage geschaffen werden für eine sicherheitstechnische Bewertung von Endlagersystemen in unterschiedlichen geologischen Formationen.

Die gemeinsame Bearbeitung durch GRS, BGR, DBE TECHNOLOGY und IfG soll eine ausgewogene und vollständige Betrachtung aller Instrumentarien gewährleisten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagen ermitteln und zusammenstellen
- AP2: Erstellung von generischen, geologischen Modellen, Ableitung von Modellparametern
- AP3: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes
- AP4: Analyse der geomechanischen Integrität
- AP5: Entwicklung von Endlagerkonzepten
- AP6: Analyse der radiologischen Konsequenzen
- AP7: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP8: Synthesebericht

GRS ist federführend für die Arbeitspakete 3 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten im Projekt wurden am 22.07.2015 mit einem Kick-off-Meeting begonnen. Es wurden im Berichtszeitraum insgesamt 5 Arbeitsgespräche mit den vier am Projekt beteiligten Organisationen durchgeführt. Die diskutierten Inhalte betrafen vor allem die Grundlagenermittlung, die Entwicklung des generischen geologischen Modells wie der Grundzüge des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes. Die Arbeiten in den Arbeitspaketen waren:

AP1: Zusammenstellung der relevanten Grundlagen und Literatur. Diskussion der Art und Menge der radioaktiven Abfälle und deren Endlagerbehälter. Diskussion der für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle in Frage kommenden salinar geprägten Schichtenfolgen in Deutschland. Zusammenstellung und Überprüfung vorliegender Sicherheits- und Nachweiskonzepte.

AP2: Diskussion der Anforderungen an die Ableitung eines generischen geologischen Modells sowie der erforderlichen Modellparameter.

AP3: Erarbeitung der Grundzüge eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager in flach lagernden Salzstrukturen.

Auf Grundlage der Sicherheitsanforderungen des BMUB sowie bestehender Sicherheits- und Nachweiskonzepte für Endlager in steil stehenden Salzformationen in Deutschland wurden in einem ersten Iterationsschritt die Grundzüge eines Sicherheitskonzeptes für die flache Lagerung entwickelt. Hierfür wurde auch überprüft, inwieweit die entsprechenden Arbeitsergebnisse aus früheren FuE-Vorhaben für ein Endlager in flach lagernden Steinsalzformationen verwendet werden können. Notwendige Anpassungen wurden hergeleitet und beschrieben. Für das Sicherheitskonzept wurden Leitgedanken zu Grunde gelegt, die in übergeordneter und qualitativer Weise beschreiben, wie die sichere und langfristige Endlagerung der radioaktiven Abfälle in der flachen Lagerung erreicht werden soll. Anhand der Leitgedanken wurden Zielsetzungen für das Sicherheitskonzept formuliert sowie strategische planerische und technische Maßnahmen für die Entwicklung des Endlagerkonzeptes und für die Auslegung des Endlagerbergwerks abgeleitet sowie Anforderungen an diese Maßnahmen beschrieben. Die Anforderungen an die aus den Zielsetzungen des Sicherheitskonzeptes abgeleiteten Maßnahmen wurden zunächst qualitativ formuliert. Darüber hinaus wurden vorläufige, quantitative Angaben aus der Literatur abgeleitet, die als Ausgangswerte für die spätere Nachweise dienen sollen. Die Ergebnisse wurden in einem Zwischenbericht dokumentiert.

Zu den Arbeitspaketen 4 bis 8 wurden im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Weiterentwicklung des Sicherheitskonzeptes. Erarbeitung der Grundzüge für ein Nachweiskonzept.

AP4: Diskussion der geomechanischen Modellrechnungen und der Modellparameter.

AP6: Vorbereitung von radiologischen Modellrechnungen, Diskussion der Rechenfälle.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 11405C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.1, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 524.140,00 EUR	Projektleiter: Dr. Minkley	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, erstmalig ein technisches (standortunabhängiges) Konzept sowie die Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente auf der Grundlage generischer geologischer Modelle für flach lagernde Steinsalzformationen zu entwickeln. Das erste Teilziel ist die Herleitung von generischen geologischen Modellen inklusive Modellparametern als Grundlage für die Grubengebäudekonzeption und Auslegungsberechnungen. Ein zweites Teilziel ist die Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes sowie die Entwicklung von technischen Konzepten für Endlagerbergwerke für vier verschiedenen Einlagerungsvarianten. Ein weiteres Ziel ist die Überprüfung der Ausweisbarkeit eines einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (Integritäts- und Konsequenzenanalyse für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in der flachen Lagerung). Insgesamt werden mit dem Vorhaben technisch-wissenschaftliche Grundlagen geschaffen für eine sicherheitstechnische Bewertung von Endlagersystemen in unterschiedlichen geologischen Formationen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagen ermitteln und zusammenstellen
- AP2: Erstellung von generischen geologischen Modellen, Ableitung von Modellparametern
- AP3: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes
- AP4: Analyse der geomechanischen Integrität
- AP5: Entwicklung von Endlagerkonzepten
- AP6: Analyse der radiologischen Konsequenzen
- AP7: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP8: Synthesebericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen von AP1 Grundlagenermittlung wurde gemeinsam mit BGR, ausgehend vor allem von früheren Arbeiten der BGR, der Kenntnisstand zur räumlichen Verbreitung der flach lagernden Steinsalzfolgen in Deutschland und ihrer lithologischen Zusammensetzung sowie zu den geologischen Lagerungsverhältnissen zusammengefasst. Dies bildet die Basis für die Erstellung der generischen geologischen Modelle.

Für die weiteren Arbeiten (u. a. zur Planung der unterschiedlichen Endlagerkonzepte in AP5 sowie für die Analyse der geomechanischen Integrität in AP4) wurde in AP2 zunächst ein geologisches 3D-Modell für den Typ „Flache Lagerung“ für einen generischen Standort unter Berücksichtigung von empirischen Mindestanforderungen zur Barrierenmächtigkeit abgeleitet. Danach liegt die Tiefenlage eines möglichen Endlagerbergwerkes zwischen 500 m und 1.000 m unter GOK, wobei die Mächtigkeit des Einlagerungshorizontes > 100 m ist.

Als Dokumentation des erreichten Arbeitsstandes wurde federführend durch die DBETEC gemeinsam mit den Partnern zum Jahresende 2015 ein Zwischenbericht erarbeitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

In den folgenden Monaten werden planmäßig die Arbeiten an den generischen Modellen weitergeführt, u. a. mit Entwicklung des geologischen Typs „Salzkissen“. Zusätzlich erfolgt eine Zusammenstellung und Begründung der geologischen Randbedingungen und geomechanischen Modellparameter für die numerischen Modellrechnungen.

Davon ausgehend werden geomechanische Modelle entwickelt, mit denen über thermo-mechanische Simulationsrechnungen die zunächst vorläufig angesetzten Mindestbarriermächtigkeiten unter den zu erwartenden thermo-mechanischen Belastungen verifiziert werden sollen.

Als 2. Schritt ist die Kalibrierung der Berechnungsmodelle zur Integritätsanalyse an Versagensfällen geologischer Barrieren durch fluiddruck-getriebene Perkolation entlang diskreter Fließwege im Salzgestein vorgesehen. Dies ist Voraussetzung für die Durchführung von THM-gekoppelten Modellrechnungen zur Überprüfung der Integrität der geologischen und geotechnischen Barrieren für die zwei generischen Standortmodell-Typen der flachen Lagerung (Typ „flache Lagerung“ und Typ „Salzkissen“).

5. Berichte, Veröffentlichungen

DBETEC (2015): Unter Beteiligung von BGR: S. Fahland, J. Hammer, S. Heusermann, T. Kühnlenz, S. Mrugalla, K. Reinhold; DBETEC: N. Bertrams, W. Bollingerfehr, S. Dörr, W. Filbert, E. Simo; GRS: D. Buhmann, J. Kindlein, J. Mönig, J. Wolf; IfG: W. Minkley, T. Popp. Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA). - Zwischenbericht -

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55122 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 11415A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 431.000,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Reich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die geochemische Wechselwirkung der Actiniden Np, Pu und des Spaltproduktes Tc mit Zementkorrosionsphasen sowie die Vorgänge an der Grenzfläche zwischen Beton und natürlichem Tongestein bzw. Bentonit werden bei mittleren und hohen Ionenstärken untersucht. Bei den Studien mit Pu wird auch der Einfluss organischer Zusätze auf dessen Sorption an Zementphasen betrachtet. Der Schwerpunkt der Studien soll bei den drei- und vierwertigen Actiniden und beim vierwertigen Technetium liegen. Teilweise sollen aber auch Np(V) und Tc(VII) zum Vergleich mit in die Untersuchungen einbezogen werden. Zur Identifizierung der wichtigsten Prozesse bei der Radionuklidrückhaltung sollen die Sorptions- und Diffusionsexperimente mit Speziationsmethoden (XAFS, XRD, XPS, CE-ICP-MS) gekoppelt werden. Diese Daten sollen es ermöglichen, die wichtigsten Prozesse wie Sorption und Diffusion zu modellieren und auf molekularer Ebene zu verstehen, so dass Vorhersagen im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse gemacht werden können. Im Rahmen des Verbundprojekts wird schwerpunktmäßig mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, dem Karlsruher Institut für Technologie, der Universität des Saarlandes und der TU München zusammengearbeitet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Untersuchung des Einflusses von Zementalterationsphasen auf die Migration von Np, Pu und Tc in Portlandzement
- Einfluss von organischen Zementadditiven auf die Sorption von Plutonium an Zementphasen
- Untersuchung der Diffusion von Np, Pu und Tc in Tongestein unter hyperalkalinen Bedingungen
- Untersuchung der Sorption von Pu und Tc an Ca-Bentonit und ihrer Diffusion in kompaktiertem Ca-Bentonit unter hyperalkalinen Bedingungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zur Vorbereitung von Sorptionsexperimenten im System Actinid/Ca-Bentonit bei mittleren und hohen Ionenstärken wurde zunächst das Auslaugungsverhalten von Ca-Bentonit in verdünnter Gipshutlösung untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Ca^{2+} aus dem Bentonit in Abhängigkeit von der Konzentration der Suspension herausgelöst wird. Der pH-Wert im Gleichgewicht betrug ca. 8. Es wurden Batch-Experimente begonnen, um die Sorption von Np(V) an Ca-Bentonit in verdünnter Gipshut-Lösung unter aeroben Bedingungen bei pH 8 und unter hyperalkalinen Bedingungen bei pH 13,5 unter CO_2 -Ausschluss zu studieren.

Aus Portlandzement wurden mehrere Zementsteinzylinder mit einem Wasser-Zement-Wert von 0,5 hergestellt und mindestens 28 Tage durch Unterwasserlagerung gehärtet. Nach Beendigung des Aushärtens wurde ein Teil des Zementsteins für Batch-Experimente pulverisiert (Größenfraktion $\leq 63 \mu\text{m}$) bzw. in eine Diffusionszelle eingebaut.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Batch-Experimente zur Sorption von Np an Ca-Bentonit unter hyperalkalinen Bedingungen sollen abgeschlossen werden. Die dabei gesammelten Erfahrungen für das System Ca-Bentonit/verdünnte Gipshut-Lösung sollen bei den anschließenden Sorptionsversuchen mit Pu berücksichtigt werden.

Die Sorption von Np an Zementstein unter hyperalkalinen Bedingungen soll in Batch-Experimenten analog zu den Versuchen mit Ca-Bentonit bestimmt werden.

Die Diffusionsparameter von schwerem Wasser (HTO) in Zementstein werden bestimmt. Anschließend erfolgt ein Diffusionsexperiment mit Np.

Für die Untersuchungen der Wechselwirkung von Np mit Zementkorrosionsphasen werden C-S-H-Phasen mit verschiedenen Ca:Si-Verhältnissen hergestellt. Anschließend sollen daran Sorptionsstudien mit Np erfolgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11415B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 638.860,00 EUR	Projektleiter: Dr. Schmeide	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge zur Verbesserung des Verständnisses dominierender Prozesse für die Mobilisierung bzw. Immobilisierung von Radionukliden auf molekularer Ebene sowie die Bestimmung quantitativer Parameter zur geochemischen Radionuklidrückhaltung an endlagerrelevanten Festphasen. Im Detail wird das Rückhaltevermögen von Zementphasen und Tonmaterialien gegenüber Radionukliden (Cm, Eu, U, Tc) unter hyperalkalinen Bedingungen bei mittleren bis hohen Ionenstärken mittels Batch- und Diffusionsexperimenten untersucht. Durch Einsatz spektroskopischer Methoden sollen gebildete Oberflächenkomplexe bzw. der strukturelle Einbau der Radionuklide in die Mineralphasen auf molekularer Ebene spezifiziert und über längere Zeiträume verfolgt werden, um eine mögliche Freisetzung von Radionukliden infolge von veränderten Umgebungsparametern aufzuzeigen. Ein weiteres Ziel besteht in der Bereitstellung verbesserter Bewertungsgrundlagen zum Einfluss polymerer Zementfließmittel (Superplasticizer) auf das Adsorptionsverhalten von Radionukliden im Freisetzungsfall. Am Beispiel von Polycarboxylatethern (PCE) als aktuelle Generation von Superplasticizern sollen die Bedingungen für eine verringerte adsorptive Immobilisierung von Actiniden-Analoga an Zementphasen und Tonmaterialien festgestellt werden. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten der Universitäten Mainz, Dresden, Saarbrücken, München, Heidelberg, Potsdam und des Karlsruher Instituts für Technologie.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Spektroskopische Untersuchung der Stabilität von Radionuklid-dotierten Zementphasen (Cm, U und Tc)
- AP2: Spektroskopische Untersuchung der Stabilität von Radionuklid-dotierten Tonmineralphasen (Cm, U und Tc)
- AP3: Untersuchung der Sorption und Diffusion von U an/in Tongestein und Ca-Bentonit unter hyperalkalinen Bedingungen
- AP4: Untersuchung der Komplexbildung von Eu mit polymeren Zementfließmitteln (Polycarboxylatether)
- AP5: Synthese und Charakterisierung ¹⁴C-markierter Polycarboxylatether
- AP6: Untersuchung des Einflusses polymerer Zementfließmittel (Polycarboxylatether) auf die Adsorption von Eu an Zementphasen
- AP7: Untersuchung des Einflusses polymerer Zementfließmittel (Polycarboxylatether) auf die Adsorption von Eu an Tongestein und Ca-Bentonit
- AP8: Entwicklung geochemischer Modelle
- AP9: Methodenentwicklung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Mit dem Ziel der systematischen quantitativen Erfassung der Komplexbildung von Eu(III) mit Polycarboxylatethern (Superplasticizern) in Abhängigkeit von pH-Wert und Ionenstärke wurden verschiedene Trennverfahren getestet und optimiert. Eine adsorptive Trennung mit Anionenaustauschern hat sich bei hohen Elektrolytgehalten nicht als geeignet erwiesen. Ultrafiltration mit Polyethersulfon-Membranen führt zu den besten Ergebnissen. Weitere methodische Vorarbeiten wurden bzgl. der pH-Wert-Messung in hochsalinen Lösungen durchgeführt.
- In Vorbereitung der Untersuchungen zur Rückhaltung von U an Zementphasen und Tongestein unter hyperalkalinen Bedingungen wurden Untersuchungen zur U-Löslichkeit in hyperalkalinem Zementporenwasser unternommen.
- Der für Untersuchungen der U-Sorption bzw. U-Diffusion einzusetzende Ca-Bentonit (CALCIGEL[®]) wurde mittels ICP-MS- und AAS-Analysen sowie N₂-BET-Messungen charakterisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung der Komplexbildung von [¹⁵²Eu]Eu(III) mit dem kommerziellen Superplasticizer MasterGlenium 51 (BASF) bei Variation von pH-Wert (9-13) und Ionenstärke (0,1-4 M NaCl) mittels Ultrafiltration
- Charakterisierung von MasterGlenium 51 bzgl. Carboxylgruppengehalt und Molekulargewichtsverteilung
- Präparation amorpher CSH-Phasen, beginnende Versuche zu Adsorption bzw. Einbau von Eu und U verbunden mit spektroskopischer Identifikation der Radionuklidspezies
- Weitere Charakterisierung von Ca-Bentonit (CALCIGEL[®]): XRD- und RFA-Analyse, Zetapotentialmessungen, Bestimmung der Kationenaustauschkapazität
- Untersuchung der Sorption von U an Ca-Bentonit unter dem Einfluss hyperalkaliner Zementporenwässer

5. Berichte, Veröffentlichungen

Xiong, Q., Joseph, C., Schmeide, K., Jivkov, A.P.: Measurement and modelling of reactive transport in geological barriers for nuclear waste containment. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 17, 30577-30589 (2015).

Kulenkampff, J., Gründig, M., Zakhnini, A., Lippmann-Pipke, J.: Process tomography of diffusion with PET for evaluating anisotropy and heterogeneity. *Clay Minerals* (im Druck).

Lippold, H., Lippmann-Pipke, J.: Dynamics of metal-humate complexation equilibria as revealed by isotope exchange studies – a matter of concentration and time. *Geochim. Cosmochim. Acta* (unter Begutachtung).

Poetsch, M., Lippold, H.: Effects of ionic strength and fulvic acid on the adsorption of Tb³⁺ and Eu³⁺ onto clay. *J. Contam. Hydrol.* (unter Begutachtung).

Moll, H., Cherkouk, A., Bernhard, G.: Interaction of anaerobic Mont Terri Opalinus Clay bacteria with plutonium(VI). Posterbeitrag: Migration'15 - 15th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, 13.-18.09.2015, Santa Fe, USA.

Lippold, H., Lippmann-Pipke, J.: Complexation of f-elements with humic carriers – how dynamic is the equilibrium? Posterbeitrag: Migration'15 - 15th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, 13.-18.09.2015, Santa Fe, USA.

Kulenkampff, J., Gründig, M., Zakhnini, A., Schikora, J., Gerasch, R., Lippmann-Pipke, J.: Visualization of heterogeneous diffusion processes with PET aligned with 3D FE simulation results. Posterbeitrag: 7th International Symposium on Process Tomography, 01.-03.09.2015, Dresden.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11415C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 559.679,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten (FuE) dieses Vorhaben beinhalten die anwendungsbezogene, standortunabhängige Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Entsorgung insbesondere Wärme entwickelnder und langlebiger radioaktiver Abfälle. In diesem Vorhaben werden sicherheitsrelevante Phänomene und Prozesse untersucht, prozessbeschreibende Modelle und Codes entwickelt und bereitgestellt sowie die Methodik zur Führung von Sicherheitsnachweisen optimiert. Die FuE-Arbeiten haben zum Ziel, die wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Realisierung eines Endlagers für radioaktive Abfälle bereitzustellen, den Stand von Wissenschaft und Technik ständig weiterzuentwickeln sowie zum Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und Nachwuchsförderung im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland beizutragen. Das Vorhaben liefert standortunabhängige Ergebnisse aus Untersuchungen zum geochemischen Verhalten von Actiniden in Lösungen - Grundwässer bzw. Porenwässer -, die im Kontakt mit Betonbauwerken stehen. Hierbei werden für die relevanten Actiniden thermodynamische Daten zur Komplexierung – vorwiegend gelöste organischen Komponenten (Plasticizer) - und Sorptionsdaten auf Basis von Oberflächenkomplexierungsmodellen abgeleitet. Diese Daten können über einem thermodynamischen Modell in eine Sicherheitsanalyse eines Endlagers Eingang finden.

Zusammenarbeiten laufen mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, der Universitäten Mainz, Potsdam, Heidelberg, Köln, des Saarlandes sowie der TU München.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Radionuklidrückhaltung im System Zement-, Zementkorrosionsprodukten bei mittleren bis hohen Ionenstärken

AP2: Radionuklid-Rückhaltung durch Sorption am Tonmineral Illit bei mittleren bis hohen Ionenstärken

AP3: Thermodynamische Modellierung:

AP4: Methodenentwicklung: Analytik, Spektroskopie, Quantenchemie

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Sorption von Eu(III) und Np(V) an Dreischicht-Tonmineralphasen (natürlicher Illit und Montmorillonit sowie synthetischer, eisenfreier Montmorillonit) wurde in Gegenwart von CO₂ bei endlagerrelevanten CO₂-Partialdrücken von $p_{\text{CO}_2} = 10^{-2}$ untersucht. Die Resultate zeigen deutliche Unterschiede zu den Resultaten bei atmosphärischen Bedingungen und konnten nicht immer adäquat durch vorhandene chemische Modelle beschrieben werden.

Die Batchexperimente mit Eu(III) belegen den von Marques Fernandes et al., 2008, bereits gezeigten deutlichen Rückgang der Sorption unter Einfluss von Carbonat ($p_{\text{CO}_2} = 10^{-2.3}$ bis $10^{-3.5}$) für pH-Werte über pH = 8. Dieser Befund konnte für Na-Montmorillonit und Na-Illit reproduziert werden sowie auf höher saline Systeme und auf den höheren CO₂-Partialdruck von $p_{\text{CO}_2} = 10^{-2}$ erweitert werden. Bei Erhöhung des Partialdrucks um eine Einheit tritt der Abfall der Sorption ~ 0.5 pH-Einheiten tiefer auf.

Spektroskopische Untersuchungen des An(III)-Ton-Carbonat Systems erwiesen sich aufgrund der gleichzeitigen Anwesenheit verschiedener Spezies und der damit verbundenen Überlagerung der Signale als sehr schwierig und machten eine Phasenseparation notwendig (Verwendung feuchter Pasten). Es gibt Hinweise auf die Bildung mehr als einer carbonathaltigen Oberflächenspezies unter den gewählten Versuchsbedingungen.

Eine modellhafte Beschreibung der experimentellen Sorptionsdaten mit PhreeqC erfolgte mit dem am Paul-Scherrer-Institut entwickelten 2SPNE SC/CE Modell. Es erweist sich, dass das Carbonatsystem sehr komplex ist. Die bisherigen Modellannahmen reichen nicht aus, um alle Experimente mit der notwendigen Genauigkeit zu beschreiben.

Analog zur Eu(III) Sorption wurden entsprechend Np(V) Sorptionsuntersuchungen in Abhängigkeit von Ionenstärke und CO₂-Partialdruck, an Illit und Montmorillonit begonnen. Die ersten experimentelle Daten unter atmosphärischen Bedingungen zur Sorption von Np(V) an Na-Montmorillonit weisen einen Abfall der Sorption für pH-Werte über pH = 8.5 auf. Die Sorption an Na-Illit in Abwesenheit von Sauerstoff zeigt eine Überlagerung des von (Marsac, 2015) beschriebenen Redoxeinflusses von strukturellem Eisen im Tonmineral und dem charakteristischen Abfall der Sorption in Carbonatsystemen. In Gegenwart von Montmorillonit fanden sich bisher keine Hinweise auf eine Reduktion von Np(V), was an der geringeren Eisenkonzentration im Montmorillonit liegen kann.

Abschließend lässt sich feststellen, dass der Einfluss von Carbonat den Rückhalt von Radionukliden bei porenwasserrelevanten pH-Werten signifikant vermindert.

(Marsac, 2015): Marsac et al., *Geochim. Cosmochim. Acta* 152, 39 (2015).

4. Geplante Weiterarbeiten

- Spektroskopische Arbeiten zur Eu(III)/Cm(III)-Sorption bei höheren CO₂-Partialdrücken zur Identifizierung der relevanter Sorption-Spezies.
- Verbesserte Modellierung der experimentellen Daten.
- Identifizierung relevanter Zementadditive, Zementarten und Sekundärphasen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Campus, 66123 Saarbrücken	Förderkennzeichen: 02 E 11415D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015
Gesamtkosten des Vorhabens: 458.021,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kickelbick

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zu Beginn des Projektes werden Korrosionsprodukte von Zementstein bzw. auch von ausgewählten Betonproben inklusive der organischen Zementzusätze unter den Bedingungen eines Standorts in Tongestein unter hochsalinaren Bedingungen untersucht. Insbesondere wird Portlandzement (PZ Doppel N CEM I 42,5 N) ohne bzw. mit typischen organischen Zementzusätzen (beispielsweise Glenium 51) studiert werden. Dabei wird untersucht, welche Formationswässer sich im Kontakt mit mittleren bis hohen Salinitäten ausbilden und welche Korrosionsprodukte unter solchen Bedingungen entstehen. Zu diesen Arbeiten gehören die Charakterisierung der hyperalkalinen Porenwässer inklusive der enthaltenen organischen Komponenten sowie die Herstellung entsprechender synthetischer Formationswässer.

Als weiteren Schwerpunkt werden Untersuchungen zu den Wechselwirkungen solcher hochalkaliner Wässer mit den verwendeten Tönen durchgeführt. Hierzu werden Opalinuston sowie Ca-Bentonit (Calcigel), der als Puffer-Material und Bohrlochverschluss im Endlagerkonzept vorgesehen ist, eingesetzt. Ziel der Untersuchungen ist die Bestimmung der Rückhaltung bzw. Mobilität endlagerrelevanter Elemente (bzw. Elementgemische in einer dem Endlagerinventar entsprechenden Zusammensetzung) im Ton unter dem Einfluss der gebildeten hyperalkalinen Formationswässer hoher Ionenstärke mit Hilfe von Batch-Versuchen und Miniatur-Säulen-Experimenten (MSE).

Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und den Universitäten Dresden, Heidelberg, Mainz, München und Potsdam.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

UdS-AP I (Verbund AP1 und AP4):

Untersuchung der Zusammensetzung von Zementporenwasser (CPW) mittels Auslaugversuchen, Definition und Herstellung von synthetischem Zementporenwasser (ACW) für weitere Untersuchungen

UdS-AP II (Verbund AP2 und AP4)

Untersuchung der Wechselwirkung von ACW mit Ton (Batch-Versuche mit Opalinuston und Calcigel), Analyse des Korrosionsprozesses von Ton durch hoch-pH und ACW

UdS-AP III (Verbund AP2)

Untersuchung der Sorption von endlagerrelevanten Elementen an unverändertem und verändertem Ton („aged clay“) in Anwesenheit von ACW (Batch-Versuche)

UdS-AP IV (Verbund AP2 und AP4)

Wechselwirkung von CPW bzw. ACW mit Ton bzw. Tongemischen (OPA, Ca-Bentonit) mittels Miniatur-Säulen-Experimenten (MSE)

UdS-AP V (Verbund AP1 und AP4)

Untersuchung des Einflusses organischer Additive im Eluat aus Korrosionsprozessen auf die Retardation bzw. Mobilisierung von endlagerrelevanten Metallen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Berichtszeitraum wurden Auslaugversuche an Portlandzement (PZ Doppel N CEM I 42,5 N, Dyckerhoff GmbH und CEM I 32,5 R, Baunit GmbH) und Zementstein (Massen-Verhältnis: Wasser/Zement $w/z = 0,5$) sowie Beton (Zement gemischt mit Estrichsand 0/8 mm, WECO GmbH und CEN-Referenz-Sand DIN EN 196 Teil 1, NORMENSAND GmbH) bei mittlerer bis hoher Ionenstärke mit unterschiedlichen Salz- bzw. Ionen-Gehalten entsprechend den Tonporenwässern durchgeführt. Neben verschiedenen Salzlösungen (0,01-2,5 M NaCl) wurde das Referenzporenwasser entsprechend dem Projekt AnSichT (2,54 M Salzlösung, bestehend aus 2,5 M NaCl, 0,02 M $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ und 0,02 M $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) verwendet. Zusätzlich wurden Proben mit organischen Zementzusätzen (Glenium 51, BASF Construction Solutions GmbH) angesetzt. Der Zementstein ($w/z = 0,5$) sowie der Beton (Massen-Verhältnis: Zement/Sand/Wasser = $1/3/0,5$) wurde dabei in Anlehnung an DIN EN 196 Teil 1 hergestellt.

Die Auslaugversuche wurden dabei mit zwei unterschiedlichen Methoden durchgeführt. Zum einen wurden die Proben im Batch bei Raumtemperatur (23 ± 2 °C) für 20 und 72 Stunden geschüttelt, zum anderen wurden identische Proben mittels Hochdruckaufschlussgerät (HPA-S, Anton Paar, Graz, Austria) für 2 Stunden und 100 bar bei verschiedenen Temperaturen (100-220 °C) ausgelaugt.

Das ICP-MS-Elementscreening (ICP-MS, Agilent 7500cx mit He-Kollisionszelle) zur Zusammensetzung des Zementporenwassers (CPW) zeigte, dass neben den Zement- bzw. Beton-Hauptbestandteilen (Al, Si, Ca und Fe) auch eine Vielzahl anderer Neben- bzw. Spurenbestandteile (Li, Mg, K, V, Cr, Mn, Ga, Rb, Sr, Mo, I, Cs und Ba) im CPW nachgewiesen werden konnten. Die pH-Werte der Auslauglösungen lagen je nach Methode und Ionenstärke im Bereich zwischen 12,7 und 13,1.

Erste Erkenntnisse zum Methodenvergleich zeigen, dass die Element-Auslaugversuche mittels Hochdruckaufschlussgerät zu keinen reproduzierbaren Ergebnissen (Standardabweichungen für Dreifachwiederholungen liegen für viele Elemente über 30 %) führen und auch nicht mit den Ergebnissen der Batchversuche vergleichbar sind. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden weitere Auslaugversuche mittel Hochdruckaufschlussgerät vorerst zurückgestellt und der weitere Untersuchungsschwerpunkt zur Element-Auslaugung konzentriert sich auf die Batch-Methode. Als weitere Parameter wurden hier verschiedene Zement bzw. Beton-Größenfraktionen (<100 μm und 0,5-1,0 cm) bei unterschiedlich langen Leachingzeiten (20-336 h) verwendet, wobei für ausgewählte Proben Langzeit-Auslaugversuche laufen. Die Auswertung der ersten Versuchsergebnisse zur Auslaugungskinetik in Abhängigkeit von Größenfraktion und Auslauglösung wird aktuell durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Berichtszeitraum wird die Element-Auslaugungskinetik von Zementstein und Beton bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen (Größenfraktion, Zusammensetzung der Auslauglösung, Dauer der Auslaugversuche) aufgenommen. Von ausgewählten Proben werden vor und nach der Auslaugung XRD-Messungen zur Ermittlung der Phasenzusammensetzung durchgeführt. Nach den Auslaugversuchen wird die Zusammensetzung des Zementporenwassers (CPW) mittels weiterführendem ICP-MS-Elementscreening bestimmt. Aus den erhaltenen Ergebnissen wird anschließend die Zusammensetzung des synthetischen Zementporenwassers (ACW) für weitere Untersuchungen festgelegt. Mit CPW und ACW werden vergleichende Auslaugversuche an Ton (Opalinuston und Calcigel, das vorher charakterisiert wird) durchgeführt und die Elementzusammensetzung und weitere wichtige Parameter der Auslauglösungen bestimmt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Boulard Lise (2015): Characterization of the leaching behavior of Portland cement concrete. Masterarbeit, Naturwissenschaftlichen Fakultät III, Universität des Saarlandes.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 E 11415E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 476.760,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krüger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Sorption von Actiniden an C-S-H-Phasen
- Quantenmechanische Modellierung der Komplexbildung von Actiniden in basischen Lösungen

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen“ GraZ

Komplementär zum BMBF-Verbundprojekt ThermAC

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete (AP):

AP1: Wechselwirkung von Actiniden mit C-S-H-Phasen

AP2: Actinidenkomplexe in basischen Lösungen

AP3: Unterstützung spektroskopischer Experimente

AP1 umfasst quantenmechanische Berechnungen periodischer Modelle von C-S-H-Phasen und die Untersuchungen der Wechselwirkung von Actinidenspezies mit diesen.

In AP2 werden Hydroxid- und Carbonatkomplexe von Actiniden in basischer wässriger Lösung sowie ihre Wechselwirkung mit Lösungskationen und Modellen von Zementadditiven untersucht.

AP3 ist der Unterstützung der Interpretation spektroskopischer Experimente im Verbund durch die Berechnung entsprechender Parameter gewidmet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1.1: C-S-H-Phasen; AP2.1: Hydroxide und Carbonate.

Zur rechnerischen Modellierung von C-S-H-Phasen (AP1.1) wurde vom Mineral Tobermorit ausgegangen. Die Kristallstruktur sowie Bindungslängen des 14 Å-Tobermorits werden gut mit der DFT-GGA-Methode reproduziert. Versuche mit Van-der-Waals-Funktionalen er-

brachten bisher keine Verbesserung. In Übereinstimmung mit experimentellen Kristallstrukturen sind die Ca-Ionen in der Mineralschicht 7-fach koordiniert, in der Zwischenschicht jedoch nur 6-fach, mit zwei Bindungen an Si-Tetraeder und vier Wasserliganden. Rechnungen mit größeren Einheitszellen ergaben eine leichte Relaxation der Struktur, vermutlich als Folge einer Umordnung des Kristallwassers. Mit den Modellen $\text{Ca}_n\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_{2(6-n)}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ für $n = 4-6$ wurde die Variation des Ca/Si-Verhältnisses untersucht. Die mit sinkendem Verhältnis Ca/Si sinkende Energie korrespondiert mit dem sinkenden Ca-Gehalt bei der Zementalterung. Neben 14 Å-Tobermorit wurde auch 11 Å-Tobermorit berechnet, um die verwendete Methode zu validieren. Für drei Varianten des Merlino-Typs dieses Minerals konnten kleine Unterschiede der Gitterkonstanten mit großen Einheitszellen reproduziert werden. Entsprechende Rechnungen zum Hamid-Typ sind noch nicht abgeschlossen.

Modellierungen zu Hydroxiden in basischen Lösungen (AP2.1) wurden für U(VI) und Am(III) begonnen. Für U(VI) werden zunächst sechs Isomere der dreikernigen Komplexe $[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5]^+$ als bekannte Beispiele der Klasse $[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_n]^{6-n}$ untersucht, um Struktur und Eigenschaften zu ermitteln. Verglichen werden dabei ringförmige Spezies mit und ohne zentrales Sauerstoffatom, mit Hydroxyo- und Aquaverbrückung sowie lineare Strukturen. Erste Ergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit bekannten DFT-Hybrid-Ergebnissen das Isomer $[(\text{UO}_2)_3\text{O}(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}]^+$ mit zentralem Sauerstoffatom als stabilste Spezies. Gegenüber einkernigen Mono- und Dihydroxidkomplexen ist dieser Komplex um etwa 60 kJ/mol bevorzugt, in Übereinstimmung mit bisherigen Speziationsvorschlägen. Die Struktur $[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5]^+$ ohne zentrales Sauerstoffatom ist nur etwa 30 kJ/mol weniger stabil und auch ein zentraler Hydroxoligand ist energetisch ungünstiger. Für zweikernige U(VI)-Hydroxidkomplexe mit einfacher und doppelter Hydroxyobrücke, die sich anhand äquatorialer U-O-Bindungslängen nicht unterscheiden lassen, ist nur die doppelt verbrückte Struktur in guter Übereinstimmung mit gemessenen U-U-Abständen. Auch hier wird damit eine frühere Rechnung aus der Literatur bestätigt und damit die Qualität der Rechnungen abgesichert.

Modellierungen einkerniger Am(III)-Hydroxide (AP2.1) werden mit dem Ziel unternommen, den Grenzkomplex bei hohem pH zu bestimmen. Thermodynamische Daten finden sich bisher für $\text{Am}(\text{OH})_3$. Die Existenz von $[\text{Am}(\text{OH})_4]^-$ wird diskutiert. Eine einfache Modellierung ohne explizite Wasserliganden mit einer Kontinuumsdarstellung der wässrigen Lösung ergab, dass die Bindung eines fünften Hydroxidliganden mit etwa 90 kJ/mol stark exotherm ist. Damit erscheint neben $[\text{Am}(\text{OH})_5]^{2-}$ sogar der Komplex $[\text{Am}(\text{OH})_6]^{3-}$ als möglich. Verbesserte Rechnungen unter Einschluss expliziter Wasserliganden bestätigen dieses Ergebnis, da bereits für $[\text{Am}(\text{OH})_4]^-$ ein Wasserligand in der ersten Koordinationsschale weniger stark gebunden ist wie in der zweiten. Auch $\text{Am}(\text{OH})_3$ zeigt mit nur zwei Wasserliganden in der ersten Schale eine deutlich reduzierte Koordination gegenüber dem Am(III)-Aquaion.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1.1: C-S-H-Phasen; AP1.2: Oberflächen von C-S-H-Phasen; AP2.1: Hydroxide und Carbonate.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam		Förderkennzeichen: 02 E 11415F
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 339.580,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kumke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Universität Potsdam (Physikalische Chemie) wird Laser-basierte optische Verfahren zur Bearbeitung der im Verbund definierten Arbeitspakete AP1 – AP4 einsetzen bzw. (weiter)entwickeln. Ziel der durchgeführten Arbeiten ist die Entwicklung analytischer, optischer Methoden zur Verbesserung des molekularen Prozessverständnisses der Wechselwirkung von Actinoid-Ionen (bzw. Lanthanoid-Ionen als Analoga) mit Mineralphasen, wie Bentonit, Tongestein und Zementalterationsphasen. Mit Hilfe moderner, ortsauflösender Schwingungsspektroskopie werden komplementär die interessierenden Wechselwirkungen zusätzlich aus Sicht der Mineralphase(n) beschrieben. Das Vorhaben wird in einem Verbundprojekt gemeinsam mit der Universität Mainz, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, dem Karlsruher Institut für Technologie, der Universität des Saarlandes, der TU München, der TU Dresden sowie der Universität Heidelberg durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Radionuklid-Rückhaltung an Zementalterationsphasen (mittlere bis hohe Ionenstärken):
Speziation von Eu(III) an/auf CSH-Phasen mittels:
- zeitaufgelöster Laserspektroskopie (TRLFS)
- Schwingungsspektroskopie/-mikroskopie
- AP2: Radionuklid-Rückhaltung an Tongestein (hyperalkalin, mittlere bis hohe Ionenstärke):
- TRLFS, Raman-Mikroskopie und SFG-Spektroskopie zur Untersuchung von Opalinuston- bzw. Calcium-Bentonit-Oberflächen
- Speziationsuntersuchungen von Eu(III) bei hohen pH-Werten und Ionenstärken in Lösung
- AP4: Methodenentwicklung:
- Weiterentwicklung optischer Mikroskopie-Techniken zur Untersuchung von Mineraloberflächen im Zusammenhang mit der Sorption von Lanthanoiden

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten zur Speziation von Europium(III) im alkalinen pH-Bereich (AP2) wurden begonnen. Hierzu wurden Lösungen mit Europium(III)-Ionen (10^{-6} mol L⁻¹) und Glycolsäure beziehungsweise Salicylsäure – Variation der Konzentration im Bereich zwischen 10^{-6} mol L⁻¹ und 10^{-3} mol L⁻¹ – bei zwei verschiedenen Ionenstärken (0,1 mol L⁻¹ und 2,5 mol L⁻¹ NaCl) unter anaeroben Bedingungen hergestellt. Von diesen Lösungen wurden stationäre und zeit-aufgelöste Lumineszenzspektren aufgenommen und die spektrale Intensitätsverteilung sowie die Lumineszenzabklingkinetik für Speziationsbetrachtungen bestimmt.

Für die Arbeiten zum Arbeitspaket AP1 wurde mit der Herstellung von CSH-Phasen begonnen. Im Fokus steht hierbei der Einfluss des Ca:Si-Verhältnis, der Standzeit/Schüttelzeit der Proben, das Feststoff:Lösung-Verhältnis sowie Bildung der Phasen in ruhenden bzw. bewegten Lösungen. Zum Teil wurde Europium(III) den Mischungen als „Intraphasen-Lumineszenzsonde“ beigefügt, die zur Herstellung von CSH-Phasen angesetzt wurden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Nach Trocknung der hergestellten CSH-Phasen werden diese umfassend analytisch-spektroskopisch charakterisiert. Hierfür sind als Methoden SEM, Raman, IR, XRD, ICP/OES und TGA vorgesehen. Nach erfolgter Charakterisierung werden die CSH-Phasen im nächsten Schritt mit Eu(III) (unter Berücksichtigung der Ionenstärke bzw. des pH-Wertes) versetzt und anschließend mit Lumineszenz- und Schwingungsspektroskopie untersucht.

Für die Speziation im alkalinen pH-Bereich wird zusätzlich zur zeitaufgelösten Lumineszenzspektroskopie die Transientenabsorptionsspektroskopie angewandt werden, die eine Charakterisierung der gebildeten Europium(III)-Komplexe durch Beobachtung der zeitabhängigen Ligandenabsorption zulässt.

Weiterhin wird mit der Untersuchung des Einflusses von Zementzusatzstoffen auf die Lumineszenz des Europium(III)-Ions in Lösungen begonnen werden. Hieraus sollen Aussagen zur Speziation des Europium(III)-Ions abgeleitet werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11415G
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 239.258,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Stumpf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt befasst sich mit Arbeiten zum grundlegenden Prozessverständnis der Speziation von (dreiwertigen) Actiniden/Lanthaniden (An/Ln) in chemischen Medien, die sich aus Zementdegradationsprozessen ergeben sowie die Bedingungen potentieller deutscher Wirtsgesteine berücksichtigen, d. h. es werden alkaline Lösungen mit mittleren bis hohen Ionenstärken betrachtet. Es werden folgende Vorhabensziele definiert: a) Identifizierung relevanter organischer Zementadditive (Plastifizierer und Super-plastifizierer, in enger Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern), b) Bestimmung konsistenter thermodynamischer Datensätze zur Wechselwirkung der relevanten organischen Zementadditive mit redoxstabilen An/Ln in alkalinen Lösungen, c) Charakterisierung des Einflusses additivhaltiger CSH-Zementphasen auf die Actinidenspeziation, d) Erweiterung des bisherigen Wissenstandes zur Wechselwirkung von An/Ln mit Boratspezies in alkalinen Lösungen inklusive der Identifizierung von borathaltigen Sekundärphasen, e) Machbarkeitsstudie zur Sorptionskalorimetrie von Ln an endlagerelevanten festen Phasen zur direkten Ermittlung von Sorptionsenthalpien

Das Forschungsvorhaben erfolgt in enger Kooperation mit den Projekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam und Heidelberg sowie dem Institut für Ressourcenökologie vom Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgung vom Karlsruher Institut für Technologie.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TU-AP-1.1: Thermodynamische Untersuchungen im System Ac/Ln-organische Zementzusatzstoffe in alkalinen Lösungen und künstlichen Zementporenwasser mit folgenden Schwerpunkten: Herstellung/Charakterisierung definierter CSH-Mineralphasen und Ettringit mit ausgewählten relevanten Additiven, Batchversuche zur Freisetzung und/oder Sorption von Additiven im binären System Zementadditiv-CSH-Mineralphase, spektroskopische und thermodynamische Charakterisierung löslicher Komplexspezies im binären System Actinid-Zementadditiv/Modellligand

TU-AP-1.2: Untersuchungen im System Actinid-Borat-organische Zementadditive in alkalinen Lösungen mit folgenden Schwerpunkten: thermodyn. Charakterisierung der Wechselwirkung von Boraten mit Zementadditiv auf Polyolbasis (Boratesterbildung, $\text{pH} > 7$), spektroskopische und thermodynamische Charakterisierung der Wechselwirkung von Ln/An mit den Boratestern

TU-AP-4.1: Etablierung der isothermen Titrationskalorimetrie zur Bestimmung von Sorptionsenthalpien folgenden Schwerpunkten: Machbarkeitsstudie zur Sorptionskalorimetrie von Ln(III) mit Modellphasen (z. B. TiO_2) als Funktion der Ionenstärke, Anpassung/Entwicklung entsprechender der Auswerterroutinen an die Spezifika der Sorption, sorptionskalorimetrische Untersuchungen mit Ln(III) an endlagerrelevanten Phasen (Ton, CSH-Phasen) als f(pH, I, Medium)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

TU-AP-1.1:

Zum Einstieg in das Projekt wurde eine Literaturrecherche zu Zementadditiven und entsprechenden Modellliganden (mit Carboxylat und Polyolstrukturen) durchgeführt. Als erster zu untersuchender Modellligand wurde Malat (2-Hydroxybernsteinsäure) ausgewählt. Malat wird als Retarder in Zement zugesetzt. Bisher sind für An(III)(Ln(III)-Komplexe mit Malat kaum thermodynamischen Daten bekannt.

Es wurden erste Uv-vis Messungen durchgeführt zur Komplexierung von Nd(III) mit Malat durchgeführt ($I = 0.5 \text{ m NaCl}$, $\text{pH} = 4$). Bei einem pH-Wert von 4 erkennt man im Absorptionsspektrum eine Verschiebung der Nd(III)-Absorptionsbande von 575 nm zu 578 nm. Die Auswertung der Spektren ist derzeit noch in Arbeit. Bisher konnte ein Komplexspezies (1:1 Komplex mit vollständig deprotonierten Malat) identifiziert werden.

Für die im Juni/Juli geplanten EXAFS-Messungen zur Komplexierung von Am(III) mit Succinat und Malat wurden vorbereitende Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- pH abhängige EXAFS-Untersuchungen zur Komplexierung mit Am(III) und Eu(III) mit Succinat und Malat
- Bestimmung der thermodynamischen Daten zur Komplexierung von Malat mittels spektroskopischer Methoden (UV-Vis, TRLFS) und Titrationskalorimetrie
- Herstellung/Charakterisierung definierter CSH-Phasen + additivhaltiger CHS-Phasen (radiomarkiertes Additiv bzw. Modellligand)
- erste Batchversuche mit den CHS-Phasen zur Auslaugung des Additiv

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Seminarstr. 2, 69117 Heidelberg		Förderkennzeichen: 02 E 11415H
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1, Wirtsgestein: Ton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.09.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 352.934,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Panak	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Verbundprojektes ist die Aufklärung des geochemischen Verhaltens von Actiniden im natürlichen Tongestein unter dem Einfluss von Zementalterationsphasen und organischen Zementzusätzen. Die Arbeiten dieses Teilprojektes beschäftigen sich daher mit dem Einfluss diverser Plasticizer und Superplasticizer, die in der Herstellung von Zementen zum Einsatz kommen und im Laufe der Lagerzeit freigesetzt werden können, auf den Quellterm und die Komplexierung von trivalenten Actiniden im Temperaturbereich bis 90 °C. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch Arbeiten zur Wechselwirkung mit verschiedenen Modellliganden wie Malonat, Succinat, etc. Dadurch sollen wichtige thermodynamische Daten der im geochemischen Milieu im Nah- und Fernbereich eines Endlagers ablaufenden Reaktionen der dreiwertigen Actinidionen erhalten werden. Das Projekt liefert somit einen entscheidenden Beitrag für eine thermodynamisch fundierte Langzeitsicherheitsanalyse von nuklearen Endlagern. Des Weiteren werden grundlegende Erkenntnisse bezüglich des Komplexierungsverhaltens der trivalenten Actiniden und Lanthaniden erhalten, die auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen von großer Bedeutung sein können.

Die in diesem Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten erfolgten in direkter Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, der Universität Mainz, Potsdam, Universität des Saarlandes sowie der TU-München.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Einfluss von organischen Zementadditiven auf den Quellterm von trivalenten Actiniden.
- AP2: Komplexierung von dreiwertigen Actiniden mit organischen Zementadditiven.
- AP3: Weiterentwicklung von spektroskopischen Methoden zur Anwendung auf saline Systeme unter zementrelevanten Bedingungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Komplexbildung von Cm(III) mit Succinat wurde bei $T = 20 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ mittels TRLFS untersucht und die $\log \beta_n^0(T)$ der $[\text{Cm}(\text{Suc})_n]^{3-2n}$ ($n = 1-3$) Komplexe ermittelt. Zusätzlich wurden die $\Delta_r H_m^0$ - und $\Delta_r S_m^0$ -Werte der ersten beiden Komplexbildungsschritte bestimmt. Die $\log \beta_n^0(T)$ -Werte sind um 1 – 2 logarithmische Einheiten kleiner verglichen mit den analogen Cm(III)-Oxalatkomplexen, was der Tatsache geschuldet ist, dass die Bildung eines 5-Ringes beim Oxalat im Vergleich zum 7-Ring beim Succinat energetisch günstiger ist.

Erste Untersuchungen zur Komplexbildung von Eu(III) und Cm(III) mit einem kommerziellen Polycarboxylat Superplasticizer (Glenium-51) zeigen, dass sich, analog zu Untersuchungen an Huminstoffen, nur eine einzige Komplexspezies bildet. Im weiteren Verlauf muss geprüft werden ob sich auch im Falle der Superplasticizer das Ladungsneutralisationsmodell zur Bestimmung von Stabilitätskonstanten anwenden lässt.

Die Komplexbildung von Cm(III) mit Malonat wurde bei $T = 25 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$ untersucht. Hierbei wurden die $\log \beta_n^0(T)$ der $[\text{Cm}(\text{Mal})_n]^{3-2n}$ ($n = 1-2$) Komplexe ermittelt. Zusätzlich ist ab $40 \text{ }^\circ\text{C}$ die Bildung einer $[\text{Cm}(\text{Mal})_3]^{3-}$ Spezies zu beobachten. Eine Erhöhung der Temperatur hat einen Anstieg der $\log \beta_n^0(T)$ zur Folge, welcher jedoch um ca. eine Größenordnung kleiner ist verglichen mit den analogen Werten für das Cm(III)-Oxalatsystem. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten könnte die Koordinationsmode des Malonats sein. Quantenchemische Rechnungen zeigen, dass hierbei die End-On-Koordination energetisch vergleichbar mit der Side-On-Koordination ist. Dies wird in weiterführenden Untersuchungen mittels EXAFS-Spektroskopie überprüft.

Bezüglich der Untersuchungen zum Einfluss der Zementorganik auf die Löslichkeit von dreiwertigen Actiniden wurden Batchsamples mit den Modellliganden Phthalat, Citrat, Adipat, Na-Methylacrylat, 1,2-Ethandiol und Melamin in NaCl-, CaCl₂- und MgCl₂-Lösungen angesetzt. Als inaktives Analogon zu den dreiwertigen Actiniden wird Nd(III) verwendet. Die entsprechende Nd(OH)₃-Festphase wurde hergestellt und mittels XRD charakterisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Laserspektroskopische Untersuchungen der Komplexbildung von Cm(III) mit weiteren Modellliganden.
- EXAFS-spektroskopische Untersuchungen der Am(III)-Malonatkomplexe.
- Durchführung und Auswertung der Batchexperimente zur Bestimmung des Einflusses der zementorganischen Modellliganden auf die Löslichkeit von Nd(III).
- EXAFS-Untersuchungen zur Wechselwirkung der dreiwertigen Actiniden mit Glenium 51 an BESSY II (Berlin) – Messzeit: 09.05.-15.05.2016
- Unterstützung der TU Dresden bei EXAFS-Untersuchungen zur Komplexbildung dreiwertiger Actiniden/Lanthaniden mit Malat und Succinat.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fröhlich, D., Trumm, M., Skerencak-Frech, A., Panak, P.J.: Thermodynamics of Cm(III) complexation with succinate studied by time-resolved laser fluorescence spectroscopy and quantum chemical calculations, in preparation

Skerencak-Frech, A., Wernicke, P., Trumm, M., Fröhlich, D.R., Finck, N., Panak, P.J.: The complexation of Cm(III) and Am(III) with malonate at increased temperatures studied by TRLFS, EXAFS and quantumchemical calculations, in preparation

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolf-Römer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11425
Vorhabensbezeichnung: Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2015 bis 31.07.2018	Berichtszeitraum: 01.08.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.241.071,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Düsterloh	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bautechnische Realisierung eines im Vorhaben FKZ 02E11223 ausgelegten Technikumsprüfstandes und Durchführung und Auswertung erster Versuche zur Eignung von Abdichtungselementen aus Steinsalzschnittblöcken mit Fugenfüllung zur langzeitsicheren Abdichtung eines Endlagers im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung der Ausschreibungsunterlagen und Einholung aktualisierter Angebote.
- AP2: Vorbereitung der Versuchshalle für die bautechnische Realisierung des Technikumsprüfstandes.
- AP3: Bautechnische Realisierung und Synthese der Anlagenkomponenten mit Testläufen zur Funktionalität und Anlagensicherheit.
- AP4: Beschaffung von gewachsenem Steinsalz.
- AP5: Herstellung von Salzschnittblöcken.
- AP6: Untersuchungen zur hydraulisch dichten Ummantelung der Großprüfkörper.
- AP7: Durchführung und Auswertung von Technikumsversuchen unter variierten THM-Beanspruchungen.
- AP8: Erstellung numerischer Berechnungsmodelle zur THM gekoppelten Reanalyse.
- AP9: Rechnerische Reanalyse der Technikumsversuche mit Verifikation und Validation.
- AP10: Erstellung Schlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Abschluss der Arbeiten zu AP1 mit Auslösung der zugehörigen Bestellungen. Weitgehend vollständige Bearbeitung von AP2 durch Demontage und Abtransport der im avisierten Hallenbereich installierten Technik, Realisierung des für eine Auflastung der Krananlage von 3 t auf 10 t erforderlichen statischen Gutachtens, Ertüchtigung des Traggerüsts der Kranbahn, Austausch der Laufkatze inkl. Hebezeug und abschließender TÜV-Abnahme der Krananlage. Erste vorbereitende Maßnahmen zur bautechnischen Realisierung und Synthese der Anlagenkomponenten. Intensive Bemühungen zur Beschaffung von gewachsenem Steinsalz.

4. Geplante Weiterarbeiten

Bautechnische Realisierung und Synthese der Anlagenkomponenten. Beschaffung von gewachsenem Steinsalz und Herstellung von Salzschnittblöcken.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Düsterloh, U. (2015): Design of a pilot plant to analyze sealing systems based on a bricking of rock salt, In: The Mechanical Behavior of Salt VIII, CRC Press Balkema, Taylor and Francis Group, London UK, 2015.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11435
Vorhabensbezeichnung: MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von MgCl ₂ -Lösung (MgO-SEAL)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und -technik, Feld 3.3, Wirtsgestein: Salz		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2015 bis 31.07.2018	Berichtszeitraum: 01.10.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 933.119,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kudla	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

MgO-Beton ist als Baustoff für zukünftige Verschlussbauwerke in einem HAW-Endlager im Salinar vorgeschlagen worden. Das Vorhaben MgO-SEAL dient dem Ziel, das Langzeitverhalten von MgO-Spritzbeton nach Lösungskontakt im Maßstab eines realen Bauwerks zu bewerten. Genutzt wird dazu, dass aus Spritzbeton der Rezeptur D4 (5-1-8-Bindemittelphase) in der Grube Teutschenthal errichtete Dammbauwerk GV2 nach einer Standzeit von 7 Jahren. Das Forschungsvorhaben ist ein Beitrag zum Langzeitsicherheitsnachweis von Verschlussselementen aus MgO-Beton mit der 5-1-8-Bindemittelphase für zukünftige HAW-Endlager im Salinar.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Voruntersuchungen, pneumatische Dichtheitsprüfung, Einrichtung des Versuchsortes GV2.
- AP2: Laboruntersuchungen an Bohrkernen aus dem MgO-Beton (Phasenbestand, Festigkeits- und Kriechverhalten, Porosität, Permeabilität).
- AP3: Lösungsangriff (hydraulische Druckbeaufschlagung GV2) über lange Bohrlöcher und über die vorhandene Druckkammer.
- AP4: Planung des selektiven Rückbaus und Nachuntersuchungen.
- AP5: Interpretation der Versuchsergebnisse und Empfehlungen für die Gestaltung von Verschlussbauwerken aus MgO-Spritzbeton.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Kontaktdrücke im GV2 betragen nach ca. 7 Jahren Standzeit des Bauwerks maximal 3,3 bar (Messebene 2, Sohle) und minimal bei 0,8 bar (Messebene 2, linker Stoß). Sie liegen somit weit unter den infolge Aufkriechen des Gebirges erwarteten Werten. Im Ergebnis des pneumatischen Vortests wurde eine (effektive) integrale Gaspermeabilität des Gesamtsystems von $k_{eff} = 1,2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ bestimmt. Im Vergleich zu im April 2009 ermittelten Wert von $k_{eff} = 3 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ist dies eine deutliche Verschlechterung. Die Ursache liegt in der hohen Permeabilität der Kontaktzone von ca. $10\text{-}12 \text{ m}^2$. Es wird vermutet, dass trotz des Einspritzens der Kontur mit Spritzbeton im Laufe der 7 Jahre der Tachyhydrit und der Kieserit weiter verwittert ist und damit in der Kontur Hohlräume in einer nicht erwarteten Größenordnung entstanden sind. Allerdings ist der im vorliegenden Fall der Grube Teutschenthal umgebende Kieserit- und Tachyhydrit-haltige Carnallitit nicht für zukünftige HAW-Endlager relevant. Die seit 2009 bereitstehende MgCl_2 -haltige Kontaktlösung wurde zur Sicherstellung der erforderlichen Ionenkonzentrationen analysiert und kann zur Bauwerksbeaufschlagung herangezogen werden.
- AP2: Der Umfang der Laboruntersuchungen des MgO -Betons wurde aktualisiert. Sekundär durch CO_2 -Kontakt gebildete Phasen an der Luftseite des GV2 wurden als Chlorartinit - $[\text{Mg}_2(\text{CO}_3)(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})]\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ – identifiziert

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Vorbereitungen für die Befüllung der Druckkammer mit MgCl_2 -haltiger Kontaktlösung.
- AP2: Entnahme der Bohrkern aus dem MgO -Beton und Durchführung der Laboruntersuchungen.
- AP3: Auf nachträgliche Injektionsarbeiten zur Vergütung der Kontaktzone wird verzichtet. Es werden Langzeit-Permeabilitätsmessungen unter hohen Flüssigkeitsdrücken in langen geneigten Bohrlöchern ($L = 4 - 6 \text{ m}$) innerhalb des MgO -Betons durchgeführt, die nachträglich großkalibrig überbohrt werden können. Weiterhin wird mit der schrittweisen Befüllung der Druckkammer mit MgCl_2 -haltiger Lösung begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

2.2 Vorhaben Bereich 6

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6263
Vorhabensbezeichnung: Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 6: Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2013 bis 30.09.2017	Berichtszeitraum: 01.07.2015 bis 31.12.2015	
Gesamtkosten des Vorhabens: 950.632,00 EUR	Projektleiter: Dr. Niemeyer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Aufgabe des Vorhabens besteht darin, die Bundesregierung (vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) in Fragen der internationalen Kernmaterialüberwachung zu beraten und bei der Weiterentwicklung der Kontrollen zu unterstützen. Im Einzelnen zielte das Vorhaben ab auf Lösungsvorschläge zur weiteren Implementierung des Zusatzprotokolls, Einführung der sog. integrierten Sicherungsmaßnahmen (Integrated Safeguards), Weiterentwicklung des sog. Staatskontrollansatzes (State-level Approach), Entwicklung von anlagen- und brennstoffkreislaufspezifischen Kontrollmethoden sowie Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden unter dem Aspekt der Proliferationsresistenz. Die Arbeiten dienten der Bereitstellung von Arbeitspapieren, Techniken und Veröffentlichungen und der Entwicklung von Auswertemethoden mit dem Ziel der Übernahme der Ergebnisse durch BMWi, Euratom-Kontrollbehörde und Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind

- Weiterentwicklung von Safeguardstechnologien (Digitale Überwachungssysteme und Datenfernübertragung, analytische Messmethoden, Satellitenfernerkundung und Geoinformationstechnologien)
- Neuentwicklung von Safeguardstechnologien (Technologische Zukunftsforschung, Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung, geophysikalische Messverfahren, Lasertechniken)
- Safeguards-by-Design
- Safeguards für Nuklearanlagen (Entsorgung abgebrannter Brennelemente, Zentrifugenanreicherungsanlagen)
- Weiterentwicklung des staatspezifischen Kontrollansatzes
- Kooperation mit der DGAP zur technisch-politischen Schnittstelle der internationalen Safeguards
- Pflege des nationalen Safeguards-Internet-Portals
- Entwicklung eines Qualitätsmanagements für das EURATOM-Safeguardssystem
- Weiterentwicklung von Safeguards-Überlegungen im Rahmen von „3S“ (Sicherheit, Sicherung, Safeguards)
- Mitarbeit in der European Safeguards R&D Association (ESARDA)
- Weitere Aktivitäten (INMM, SAGSI)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Weiterentwicklung von Safeguardstechnologien: a) *Einschluss und Überwachung:* Anforderungen in der Entsorgung von Brennelementen im Rahmen der integrierten Sicherungsmaßnahmen; b) *Datenfernübertragung (DFÜ):* Mitarbeit bei der Vereinbarung für die Implementierung der DFÜ von Safeguards-Daten aus den Standort-Zwischenlagern; Vorbereitung eines Feldtests in Reaktoren; c) *Safeguardsanalytik:* Gemeinsames Promotionsprojekt mit dem IAEO-Safeguardslabor zur Produktion von Referenzpartikeln; Promotionsprojekt zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Qualifizierung Jülichs für das Netzwerk der IAEO-Analyselaboratorien (NWAL); d) *Satellitenfernerkundung:* Projekt zum Einsatz von Fernerkundung in der IAEO; e) *Geoinformationstechnologien:* Entwicklung einer Prozedur zur Erstellung GIS-fähiger Anlagenpläne; f) *Inspektionsplanung und -bewertung:* Projekt zur Verbesserung der Kernmaterialüberwachung der IAEO unter Einbezug neuer analytischer Methoden aus Statistik und Spieltheorie.
- Neuentwicklung von Safeguardstechnologien: Erweiterte Machbarkeitsstudie zu Navigations- und Positionierungstechniken.

- Safeguards-by-Design (SBD): Weiterentwicklung des Konzepts für verschiedene Anlagentypen.
- Safeguards für Nuklearanlagen: a) *Geologische Endlagerung*: Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte und Auswirkungen der Rückholungs- und Bergungsoption auf Safeguardsmaßnahmen in verschiedenen Wirtsgesteinen; Abschluss des Projekts zur 3-D-Modellierung seismischer Ausbreitung für verschiedene Quellen; Abschluss des Projekts zur gerichteten Radartechnologie; Mitarbeit in der Safeguards-Expertengruppe ASTOR der IAEO; b) *Zusatzprotokoll und Implementierung von Integrated Safeguards (IS)*: Unterstützung und Beratung von Betreibern, Unterstützung des BMWi bei Anfragen von IAEO und Euratom, Erstellung der Deklaration für Deutschland nach dem Zusatzprotokoll; c) *IAEO-Inspektionsberichte*: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Auskünfte zu Anfragen des BMWi.
- Weiterentwicklung des staatspezifischen Kontrollansatzes (SLC): Akquisitionspfadanalyse (APA)
- Kooperation mit der DGAP: Expertensitzung bei der DGAP zu den Themen „Humanitäre Initiative“, Atomwaffen, Raketenabwehr und strategische Stabilität (8.10.2015).
- Pflege des nationalen Safeguards-Internet-Portals „safeguards.de“
- ESARDA Mitarbeit: Vize-Präsidentschaft, Steering und Editorial Committee; AGn „Verification Technologies and Methodologies“, „Containment and Surveillance“, „Destructive Analysis“, „Non-destructive Analysis“, „Training and Knowledge Management“ sowie „Implementation of Safeguards“.
- Weitere Aktivitäten: a) *AKÜ/WKK und VGB-Arbeitskreis*: Mitarbeit und Teilnahme an den Sitzungen; b) *INMM*: Mitarbeit International Safeguards Division; JNMM Associated Editors, Co-Leitung AG “Open-source/Geospatial Information for Safeguards”; c) *SAGSI*: Mitarbeit.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Einschluss und Überwachung: Anforderungen in der Entsorgung von Brennelementen.
- Datenfernübertragung: Unterstützung bei der Implementierung der DFÜ in den Standort-Zwischenlagern sowie beim Feldtest in Reaktoren.
- Safeguardsanalytik: Fortsetzung der Promotionsprojekte zur Produktion von Referenzpartikeln sowie zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Fortsetzung der NWAL-Qualifizierung Jülichs.
- Satellitenfernerkundung: Studie zum kombinierten Einsatz von optischer und Radar-Fernerkundung.
- Geoinformationstechnologien: Weiterentwicklung einer Prozedur zur Erstellung GIS-fähiger Anlagenpläne.
- Inspektionsplanung und -bewertung: Wissenschaftliche Beiträge, Teilnahme an Sitzungen bei der IAEO.
- Novel Technologies: Fortsetzung der Machbarkeitsstudie zu Navigations- und Positionierungstechniken.
- Safeguards-Konzepte: Weiterentwicklung von SLC, APA und SBD.
- Endlagerung: Fortsetzung der Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte.
- Unterstützung des BMWi bei Umsetzung des Zusatzprotokolls und Bewertung von Integrated Safeguards.
- IAEO-Inspektionsberichte: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Beratung des BMWi.
- Nichtverbreitung von Massenvernichtungswaffen und sensitiven Technologien: DGAP-Expertensitzungen.
- Safeguards-Webportal: Betreuung des Webportals „safeguards.de“.
- Fortführung laufender Arbeiten in den ESARDA- bzw. INMM-Gremien und -Arbeitsgruppen.
- Mitarbeit in den nationalen Gremien AKÜ/WKK und VGB-Arbeitskreis, SAGSI-Mitarbeit.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- K. Allen, M. Dreicer, C. Chen, I. Niemeyer, C. Listner, G. Stein, Systems Approach to Arms Control Verification, ESARDA Bulletin 53, 2015 (in print)
- C. Listner, I. Niemeyer, M.J. Canty, C.L. Murphy, G. Stein, A. Reznicek, Acquisition Path Analysis Quantified – Shaping the Success of the IAEA’s State-level Concept, Journal of Nuclear Materials Management 43(4), 2015: 49-59
- M. Götsche, M. Kütt, G. Neuneck, I. Niemeyer, Advancing Disarmament Verification Tools: A Task for Europe? EU Non-Proliferation Consortium Non-Proliferation Papers No. 47, 2015
- Drei Beiträge in den Proceedings des Institute of Nuclear Materials Management 56th Annual Meeting, Indian Wells, CA, USA, 12-16 July, 2015

Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung

In den Halbjahresberichten werden in kurzgefasster Form die Ergebnisse der laufenden Forschungsvorhaben dargestellt. Vorhabenrelevante Publikationen werden, soweit es der Platz zulässt, zwar aufgelistet, es ist aber nicht immer möglich alle Veröffentlichungen (schriftlich oder mündlich) aufzunehmen. Ferner waren bisher Informationen zu Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen nicht explizit aufgenommen worden.

Es wurde daher vereinbart, zukünftig die Gesamtzahl der Publikationen zu nennen und Informationen zu Ausbildungsaspekten zu geben. Dies erfolgt erstmals in diesem Halbjahresbericht. Zahlen wurden von den Vorhabennehmern zur Verfügung gestellt und das Jahr 2015 als Referenz ausgewählt.

Diese zusammenfassende Darstellung wird im jährlichen Rhythmus erfolgen, d.h. sie wird jeweils im zweiten Halbjahresbericht erscheinen. Damit soll - zusätzlich zur Kurzdarstellung der Vorhabenergebnisse - dokumentiert werden, dass und wie die Ergebnisse verbreitet, bekanntgemacht und publiziert werden.

Publikationen

Im Jahr 2015 wurden insgesamt 44 Publikationen in begutachteten Journalen, in Form von Schlussberichten, Doktor-, Master-, Bachelor- und Studienarbeiten vorgenommen. Davon sind ca. 52% Universitäten, ca. 27% Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft und ca. 21 % sonstigen Forschungseinrichtungen und Firmen zuzuordnen.

Im Jahr 2015 wurden auf Konferenzen, bei Workshops und sonstigen Veranstaltungen insgesamt 99 Vorträge gehalten und Ergebnisse (Poster etc.) präsentiert. Davon entfielen ca. 42% auf Universitäten, ca. 24% auf Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft und ca. 33% auf Forschungseinrichtungen und Firmen.

Aus- und Weiterbildung

Ein strategisches Forschungsziel der BMWi-Förderung ist die Bereitstellung von Expertise und Wissen, der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und als wichtiges Element dabei die Unterstützung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die Aus- und Weiterbildung von Post-Docs, Doktoranden, Master- und Bachelorstudenten erfolgt nahezu ausschließlich durch Universitäten und Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft. Gleichwohl erfolgt in einzelnen Fällen die Ausbildung von Studenten im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation zwischen Universitäten und Firmen.


Im Jahr 2015 waren 60 Nachwuchswissenschaftler in FuE-Vorhaben eingebunden.

3 Verzeichnis der Forschungsstellen


Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		
02 E 11061C	Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweis-konzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT)	📖 68
02 E 11395	Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschiechten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweis-konzeptes (KOSINA)	📖 148
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), 12200 Berlin		
1501509	Langzeitverhalten von Metall- und Elastomerdichtungen sowie Polyethylen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (LaMEP)	📖 18
DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		
02 E 10729	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)	📖 30
02 E 10760	Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaus-sage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgesteinen - Kurztitel: URSEL	📖 36
02 E 11061B	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweis-konzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein	📖 66
02 E 11082	Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA) Phase II - Gene-rierung von Rissystemen einer Auflockerungszone im Korngrößen-maßstab und Überführung der Ergebnisse auf die Makroebene zur Si-mulation eines Injektionsvorganges	📖 80
02 E 11152	Prozess-Simulation zur Konzeption von Stütz- und Dichte-elementen für Schachtverschlüsse (ProSiD)	📖 92
02 E 11182B	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioakti-ve Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase – SanToS	📖 96
02 E 11193B	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen	📖 100
02 E 11263	Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Schachttransport schwerer Lasten bis zu 175 Tonnen Nutzlast (SULa)	📖 112
02 E 11294	Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbe-hältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausge-dienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsfor-mationen (ERNESTA)	📖 116
02 E 11375A	Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer	📖 142

Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt A


02 E 11385 Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)  146

02 E 11405A Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt A  150


Dr. Andreas Hampel, Grünberger Str. 56, 55129 Mainz

02 E 10810 Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV1: Dr. Andreas Hampel)  38


Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Domstr. 11, 17489 Greifswald

02 E 11344C Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt C  134


Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich


02 W 6263 Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden  178


Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena


02 E 11062B Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)  72


Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit beschränkter Haftung, Schwertnergasse 1, 50667 Köln


02 E 10367 Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen  24

02 E 10377 Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen  26


02 E 10719 Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)  28

02 E 10740 Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager  32

02 E 10750 Verbundprojekt: Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-Endlagersystemen in magmatischen Wirtsgesteinen - Kurztitel: URSEL  34





02 E 10941 Erprobung und Weiterentwicklung moderner Methoden der Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis für ein künftiges Endlager - MOSEL  50

02 E 10951 Diffusion in kompaktiertem Salzgrus – DIKOSA  52



02 E 11061A Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein  64

02 E 11062A Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden  70



	Rechnern mit d^3f und r^3t (H-DUR)	
02 E 11072A	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K _d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS	76
02 E 11102	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	84
02 E 11122	Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Sorelbeton in Salzformationen – Kurztitel: LAVA	86
02 E 11132	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Kurztitel: LASA	88
02 E 11142	Performance Assessment of Sealing Systems – Kurztitel: PASS	90
02 E 11182A	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase – SanToS	94
02 E 11203A	Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e	102
02 E 11213	Qualifizierung der Rechenprogramme d^3f und r^3t , Kurztitel Quader	106
02 E 11243	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborative und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Re-kompaktionsverhalten der EDZ(LASA-EDZ)	108
02 E 11284	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	114
02 E 11304	Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri	118
02 E 11314	Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)	120
02 E 11324	Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2)	122
02 E 11334A	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt A	124
02 E 11344A	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt A	130
02 E 11365	Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)	140
02 E 11375B	Verbundprojekt: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (CHRISTA), Teilprojekt B	144
02 E 11405B	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt B	152

- 02 E 11072B** Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K_d-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt HZDR  78
- 02 E 11334B** Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B  126
- 02 E 11344B** Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt B  132
- 02 E 11415B** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B  158


IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig

- 02 E 10830** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV2: IfG)  42
- 02 E 11405C** Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt C  154


Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 E 10981** Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 3: Universität Mainz  56
- 02 E 11415A** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A  156


Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Senckenberganlage 31, 60325 Frankfurt am Main

- 02 E 11062C** Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d³f und r³t (H-DUR)  74


Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

- 02 E 11355** Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (Expander)  138


Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

- 02 E 10850** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV4: LUH-IUB)  46




Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Seminarstr. 2, 69117 Heidelberg

- 02 E 11415H** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H  170




Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- 02 E 10840** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV3: KIT-INE)  44
- 02 E 10961** Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 1: Karls-


ruher Institut für Technologie

- 02 E 11203B** Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen – Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e  104
- 02 E 11334C** Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt C  128
- 02 E 11415C** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C  160




Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg

- 02 E 11092** Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 1  82
- 02 E 11193A** Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen  98
- 02 E 11435** MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von MgCl₂-Lösung (MgO-SEAL)  174




Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 14, 38106 Braunschweig

- 02 E 10860** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV6: TUBS)  48


Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld

- 02 E 10820** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV5: TUC)  40
- 02 E 11253** Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung – Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)  110
- 02 E 11425** Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke)  172


Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden

- 02 E 11021** Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 7: Technische Universität Dresden  62
- 02 E 11415G** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G  168
- 1501510** Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast)  20

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München


- 02 E 11001** Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im na-  60

türlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 5: Technische Universität München

02 E 11344D Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt D  136


02 E 11415E Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E  164

Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken

02 E 10991 Verbundprojekt: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen – Teilprojekt 4: Universität des Saarlandes  58

02 E 11415D Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D  162

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

02 E 11415F Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F  166