

KIT
Karlsruher Institut für Technologie
Die Forschungsuniversität in der
Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 53

BMWf geförderte FuE-Vorhaben zur
„Entsorgung radioaktiver Abfälle“

Berichtszeitraum: 1. Januar - 30. Juni 2017

Projektträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung
(PTKA-WTE)

Januar 2018

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.*

Bis Ende des Jahres 2016 wurde in dieser Fortschrittsberichtsreihe auch über die BMBF-geförderte FuE zu Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen informiert. Seit 1.10.2016 wird dieser Förderschwerpunkt durch den Projektträger GRS betreut.

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 – Förderkonzept des BMWi (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 kontinuierlich 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>11</i>
1.6	<i>Kernmaterialüberwachung.....</i>	<i>13</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	15
2.1	VORHABEN BEREICH 1	15
2.2	VORHABEN BEREICH 2 bis 5	33
2.3	VORHABEN BEREICH 6	163
	Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung.....	167
3	Verzeichnis der Forschungsstellen	169

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)	 16
1501510	Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast)	TU Dresden	 18
1501518A	Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Analysen zu strahlungsbasierten und thermographischen Messverfahren	TU Dresden	 20
1501518B	Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Akustische Messverfahren	Hochschule Zittau/Görlitz	 22
1501538A	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Simulation der Schädigung und der induzierten Erschütterungen in Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen (SimSEB) - Teilvorhaben: Verhalten von Stahlbetonstrukturen bei Stoßbelastungen unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung	TU Kaiserslautern	 24
1501543B	Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer — Teilvorhaben: Besondere Berücksichtigung der werkstoffspezifischen Besonderheiten großer Stahlbetonquerschnitte sowie der zugehörigen Bestandsaufnahme	TU Kaiserslautern	 26
RS1552	Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung	GRS	 28

RS1553A Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“)

GRS

1.2 Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl

Bisher keine Vorhaben in diesem FuE-Bereich

1.3 Endlagerkonzepte und Endlagertechnik

02 E 11092	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 1	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 42
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	📖 50
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	📖 52
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	📖 54
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	📖 58
02 E 11385	Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 84
02 E 11395	Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 86
02 E 11405C	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt C	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 92
02 E 11425	Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 110

02 E 11435	MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von MgCl ₂ -Lösung (MgO-SEAL)	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 112
02 E 11516	Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland (KONEKD)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 144
02 E 11526A	Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt A	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 146
02 E 11526B	Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt B	DBE Technology GmbH, Peine	📖 148
02 E 11557	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GE-SAV II)	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 156

1.4 Sicherheitsnachweis

02 E11061A	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 34
02 E11061B	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 36
02 E11061C	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 38
02 E11072A	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K _d -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 40
02 E11102	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 44
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	📖 46
02 E11182B	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase - SAnToS	DBE Technology GmbH, Peine	📖 48
02 E 11284	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 56
02 E 11304	Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 60
02 E 11314	Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 62
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	📖 64

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	📖 66
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	📖 68
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	📖 70
02 E 11344A	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 72
02 E 11344B	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	📖 74
02 E 11344C	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt C	Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald	📖 76
02 E 11344D	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt D	TU München	📖 78
02 E 11365	Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 82
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	📖 88
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	📖 90
02 E 11415A	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A	Johannes-Gutenberg Universität Mainz	📖 94
02 E 11415B	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 96

02 E 11415C	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein- Leopoldshafen	📖 98
02 E 11415D	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D	Universität des Saar- landes, Saarbrücken	📖 100
02 E 11415E	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E	TU München	📖 102
02 E 11415F	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F	Universität Potsdam	📖 104
02 E 11415G	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G	TU Dresden	📖 106
02 E 11415H	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H	Ruprecht-Karls- Universität Heidel- berg	📖 108
02 E 11446A	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt A	Dr. Andreas Hampel, Mainz	📖 114
02 E 11446B	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B	IfG Institut für Ge- birgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 116
02 E 11446C	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C	Leibniz Universität Hannover	📖 118
02 E 11446D	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt D	TU Carolo- Wilhelmina zu Braunschweig	📖 120
02 E 11446E	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 122
02 E 11456A	Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e^2), Teilprojekt A	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein- Leopoldshafen	📖 124

02 E 11456B	Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e ²), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 126
02 E 11466	Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 128
02 E 11476A	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 130
02 E 11476B	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B	Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main	 132
02 E 11486A	Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 134
02 E 11486B	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B	DBE Technology GmbH, Peine	 136
02 E 11496A	Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 138
02 E 11496B	Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	 140
02 E 11506	Vorprojekt – Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	 142
02 E 11567A	Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt A	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	 158
02 E 11567B	Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 160

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) | 📖 80 |
| 02 E 11547A | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt A | Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V. | 📖 150 |
| 02 E 11547B | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B | Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen | 📖 152 |
| 02 E 11547C | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt C | Freie Universität Berlin | 📖 154 |

1.6 Kernmaterialüberwachung

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

**Forschungszentrum
Jülich GmbH**

 164

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: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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.

An der TU Dresden werden im Rahmen des Vorhabens 1501510 „StrukElast“ Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen zur differenzierten Bewertung in Kooperation mit der BAM erarbeitet.

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: Die Untersuchungen wurden an Al- und Ag-Dichtungen (Torus-Durchmesser 9,9 mm bzw. 9,7 mm) nach einer thermischen Alterung von 6,5 und 8 Jahren (bei 150 °C) sowie an Ag- und Al- Dichtungen mit Torus-Durchmesser 5,6 mm bzw. 5,4 mm nach einer Alterung von 1,5 Jahren bei Raumtemperatur (bei 150 °C) fortgesetzt. Sie bestätigten die bisher erhaltenen Ergebnisse. Weiterhin wurden Vergleichsflansche gefertigt, mit 2 Al-Dichtungen bestückt und bei 150 °C gealtert. Untersuchungen erfolgten nach Initialverpressung, nach 1 Woche sowie nach 4 Wochen. Die Konstruktion des Prüfflansches zur kontinuierlichen Messung der Anpresskraft wurde abgeschlossen. Versuche zur Ermittlung der temperaturabhängigen Materialparameter einzelner Dichtungskomponenten befinden sich in Vorbereitung und es wurde mit ersten Kriechuntersuchungen begonnen.
- E: Es wurden weitere Elastomerproben nach 3 Jahren Alterung (bei 75 °C, 100 °C, 125 °C und 150 °C) entnommen und mit deren Charakterisierung begonnen. Zudem laufen derzeit Untersuchungen zur Überprüfung der Bauteilfunktion nach 1,5 Jahren Alterung (125 °C) und nach 2 Jahren Alterung (75 °C, 125 °C). Die Überprüfung der Anwendbarkeit gängiger Alterungsmodelle sowie Erstellung und Evaluation eigener Modelle wurde fortgeführt.
- P: Thermisch und bestrahlt-thermisch gealterte Proben wurden nach 3 Jahren Alterung aus den Wärmeschränken entnommen und zur Charakterisierung vorbereitet. Die Planung einer Messapparatur für die Bestimmung thermischer Ausdehnungskoeffizienten an würfelförmigen Polyethylen-Proben ist abgeschlossen. Die Entwicklung der Messapparatur für Proben im Bauteilmaßstab ist noch im Gange.

4. Geplante Weiterarbeiten

- M: Fortführung der Untersuchung gealterter Dichtungen und Modellentwicklung
- E: Fortführung der Probenuntersuchung sowie der Überprüfung von Alterungsmodellen
- P: Fortführung thermischen Alterung und Charakterisierung von Proben sowie der Konstruktion und Fertigung der Messapparaturen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Journalartikel:

Kommling A. et al.: Influence of Ageing on Sealability of Elastomeric O-Rings, Macromolecular Symposia 373; 2017

Vorträge:

Grelle T. et al.: Material Investigation and Long-term Sealing Behavior of Helioflex Metal Seals used in Containers for Spent Nuclear Fuel; Waste Management Symposia 2017; Phoenix, USA

Grelle T. et al.: Investigation Program for Evaluation and Prediction of the Long-Term Behavior of Helioflex Metal Seals; AMNT 2017; Berlin

Jaunich M. et al.: Requirements for the use of elastomer seals in casks for final disposal of low and intermediate level waste; KONTEC 2017; Dresden

Kommling A. et al.: Characterisation of degradation and determination of end-of-lifetime criterion for O-Ring seals; RubberCon 2017; Prag, Tschechische Republik

Jaunich M. et al.: O-ring seals: Material degradation, seal performance and determination of end-of-lifetime criterion, VDI Fachtagung Dichtungstechnik, Schweinfurt, 2017

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: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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: Es wurden weitere Rezepturvariationen für EPDM-Elastomere erstellt. Dabei wurden Vernetzerkonzentration und Füllstoffgehalt variiert.
- AP2: Die neuen EPDM-Mischungen wurden compoundingiert, das Vulkanisationsverhalten charakterisiert und EPDM-Prüfkörper hergestellt. Zudem wurden Modell-O-Ringe für alle untersuchten Elastomerklassen (FKM, VMQ, EPDM) hergestellt. Im Anschluss erfolgte eine Einlagerung in Wärmeschränke zur thermo-oxidativen Alterung.
- AP3: Der Einfluss der Rezepturparameter auf die mittlere Vernetzungsdichte der EPDM-basierten Rezepturen wurde mittels Gleichgewichtsquellung charakterisiert.
- AP4: Die Ermittlung der grundlegenden mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur für EPDM-Elastomere ergab u. a. Unterschiede beim Deformationsverhalten, welches von der Vernetzungsdichte abhängt. Die Ermittlung der Druckspannungsrelaxation an VMQ-Rezepturen bestätigte den bereits bei FKM-Elastomeren gefundenen Einfluss von Füllstoffgehalt und Vernetzungsdichte auf die Spannungsrelaxation.
- AP5: Untersuchungsergebnisse zum dynamisch-mechanischen Verhalten von EPDM-Elastomeren zeigten ebenfalls einen Einfluss von Vernetzungsdichte und Füllstoffgehalt. Für die VMQ-basierten Rezepturen wurden Masterkurven erstellt.
- AP6: Eine durchgängige Beschreibung des Relaxationsverhaltens bei VMQ-Elastomeren ist aufgrund des für VMQ typischen Phänomens der Kaltkristallisation nicht möglich. Dennoch wurde eine Anpassung der Masterkurven mithilfe eines Multiskalen-Fits versucht. Weiterhin erfolgte eine Auswertung und Anpassung der Masterkurven der gealterten FKM-Modellelastomere.
- AP8: Der Einfluss der thermo-oxidativen Alterung (bei 150 °C) auf die Vernetzungsdichte und relevante Werkstoffeigenschaften der FKM- und VMQ-Rezepturen erwies sich als gering. Bei FKM-Elastomeren konnte generell eine Konstanz bzw. leichte Zunahme der Zugkennwerte mit zunehmender Alterung ermittelt werden. Die VMQ-Rezepturen wiesen eine alterungsbedingte Verringerung der Bruchdehnung und –spannung auf. Die Untersuchungen zur Spannungsrelaxation ergab für die FKM-Rezepturen eine alterungsbedingte Abnahme der Relaxationsstärke, während sich die Alterung bei VMQ nur marginal auf das Relaxationsverhalten auswirkte.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Erarbeitung von HNBR-Rezepturen
- AP2: Einlagerung von Proben (EPDM, Modell-O-Ringe) zur künstlichen Alterung und Herstellung der HNBR-Rezepturen
- AP3: Charakterisierung der Eigenschaften gealterter Proben (bspw. Netzwerkdicke)
- AP4: Fortführung Druckspannungsrelaxationsuntersuchungen (u. a. an gealterten Proben)
- AP5: Erstellung von Masterkurven für gealterte Modellelastomer-Rezepturen
- AP6: Erstellung von Multiskalenfits (gealterten Elastomer-Rezepturen, EPDM-Rezepturen)
- AP7: Aufstellung von ersten Korrelationsmodellen für Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
- AP8: Fortführung der Charakterisierung der gealterten Proben

5. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation: „Influence of ageing on the structure-property relationship and performance monitoring of FKM and VMQ rubber O-Rings“; Europa/Africa-Conference der Polymer Processing Society; 26.06. – 29.06.17; Dresden

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 1501518A
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Analysen zu strahlungsbasierten und thermographischen Messverfahren		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2016 bis 31.01.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 413.887,23 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in einer Bewertung verschiedener physikalischer Messprinzipien, Verfahren und Methoden zur nichtinvasiven Überwachung des Zustandes des Inventars von Transport- und Lagerbehältern bei verlängerter Zwischenlagerung. Damit sollen Veränderungen der Brennelemente bzw. Behälterstrukturen über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten erkannt werden können, ohne die Behälter zu öffnen. Dazu werden in diesem Vorhaben die Messverfahren Strahlungsemissionsmessung (Gammastrahlung, Neutronen), Thermographie und Myonenbildgebung näher untersucht.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „DCS-Monitor“. Verbundpartner ist die Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG). Der Arbeitsschwerpunkt der HSZG liegt auf akustischen Messverfahren (FKZ 1501518B).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Allgemeine Analyse des Standes von Wissenschaft und Technik
- AP2: Methodenscreening für Strahlungsemission, Myonen und Thermographie
- AP4: Analyse zum Gamma- und Neutronenstrahlungsfeld mittels Monte-Carlo-Simulation
- AP5: Monte-Carlo-basierte Analysen zur Bewertung der Myonen-Radiographie
- AP6: FEM-Analysen zur Bewertung der Thermographie
- AP10: Entwicklung von Verfahrenskonzepten zur Behälterüberwachung

Die AP3, 7, 8, 9 des Verbundarbeitsplans werden ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Es wurden Recherchen zum langzeitlichen Verhalten der Heizleistung von Brennelementen durchgeführt, die u. a. zeigten, dass die Way-Wigner-Korrelation für einen Zeitraum von bis zu 30 Jahren mit Beginn der Lagerung sehr gut mit vorliegenden Messdaten übereinstimmt. Bereits nach diesem Zeitraum kann man nur noch eine Temperaturdifferenz von Behälteraußenwand und Umgebung von 5 K erwarten.
- AP4: Aus 3D-Monte-Carlo-Simulationen mit MCNP6 für den Versuchsstand der HSZG zur Untersuchung der Gammaskopie ging hervor, dass die durch das Halbbehältermodell abgeschwächte Strahlung noch genügend Intensität besitzt, um die Versuche in praktikabler Dauer durchzuführen. Zudem stellte sich heraus, dass die Messung der zweidimensionalen Intensitätsverteilung einen deutlichen Informationsgewinn bzgl. der Ermittlung von Quell- und Schwächungswertverteilung im Behälter generiert.
- AP5: Um die Eignung kosmischer Myonen zur Überwachung von CASTOR-Behältern zu untersuchen, wurden detaillierte Simulationen mit MCNPX durchgeführt. Die Resultate implizieren, dass die Intensität der Myonen ausreichend groß ist, um verschiedene Beladungsszenarien des Behälters voneinander zu unterscheiden. Die Radiografie von gestreuten Myonen schien dabei am vielversprechendsten zu sein.
- AP6: Aus der zu erwartenden geringen Heizleistung der Brennelemente nach langer Lagerzeit folgt, dass auch Veränderungen des Inventars des Lagerbehälters nur geringe Abweichungen im Temperaturfeld an der Behälteraußenwand erzeugen. Der Fokus der Simulationen soll daher zunächst auf Szenarien mit direktem Kontakt von Hüllrohren oder aus Hüllrohren ausgetretenem Brennstoff mit der Behälterinnenwand liegen. Recherchen zur Nutzung von Codes und Programmen zur Behältersimulation ergaben, dass meistens ANSYS CFX oder FLUENT zum Einsatz kommt. Geometrisch vereinfachte CASTOR-Modelle stehen bereits zur Verfügung, jedoch können Bauteile mit kleinen Abmessungen in einer Dimension (bspw. Bleche des Tragkorbs) bisher nicht einbezogen werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP4: Numerische Untersuchungen zum Versuchstand am HSZG insbesondere bzgl. des Einflusses des Tragekorbmodells, zur Quellverteilung und Intensität der Gammastrahlung am bzw. im CASTOR-Behälter sowie zur Detektierbarkeit von Szenarien innerhalb des Behälters im Hinblick auf die benötigte Photonenstatistik und Rechenzeit.
- AP5: Weiterentwicklung des verwendeten Codes zur Simulation der Myonen sowie die Durchführung numerischer Untersuchungen weiterer Beladungsszenarien und Inventarzustände sowohl mit dem Ansatz der Myonenstreuung als auch mit dem Ansatz der Myonentransmission.
- AP6: Verfeinerung der Modelle für die Temperaturfeldberechnung in ANSYS FLUENT und Erstellung unterschiedlich feiner Simulationsnetze für Konvergenzuntersuchungen. Fokussierung der detaillierten Simulationsarbeiten auf Behälterteile, in denen erhöhte Temperaturen durch Brennstoffverlagerung auftreten können, und Simulation des Temperaturfeldes an der Behälterinnenwand für verschiedene Szenarien mit geringerer Detailtiefe.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau		Förderkennzeichen: 1501518B
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Akustische Messverfahren		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2016 bis 31.01.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 750.814,95 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kratzsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in einer Bewertung verschiedener physikalischer Messprinzipien, Verfahren und Methoden zur nichtinvasiven Überwachung des Zustandes des Inventars von TLB bei verlängerter Zwischenlagerung. Damit sollen Möglichkeiten eruiert werden, Veränderungen der Brennelemente bzw. der aufnehmenden Behälterstrukturen über sehr lange Zeiträume von mehreren Jahrzehnten erkennen zu können, ohne Behälter zu öffnen. Dazu werden in diesem Vorhaben die Messverfahren aktive und passive Schwingungsspektroskopie näher untersucht sowie experimentelle Analysen aller Messmethoden durchgeführt.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „DCS-Monitor“. Verbundpartner ist die Technische Universität Dresden (TUD). Der Arbeitsschwerpunkt der TUD liegt auf der Strahlungsemissionsmessung, der Thermographie und der Myonenbildgebung (FKZ 1501518A).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Allgemeine Analyse des Standes von Wissenschaft und Technik
- AP3: Methodenscreening für Messmethode Schwingungsspektroskopie
- AP7: Entwicklung von Zustandserkennungsmethoden für multimodale Behälterüberwachungsdaten
- AP8: Experimentelle Analysen für die Messmethoden Gammastrahlungsemission und Thermographie
- AP9: Experimentelle Analysen für die Messmethode Schwingungsspektroskopie
- AP10: Entwicklung von Verfahrenskonzepten zur Behälterüberwachung

Die AP2, 4, 5, 6 des Verbundarbeitsplans werden ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der technische Bericht zu möglichen Zuständen und Schädigungen an Brennelementen während des Reaktorbetriebs und der Zwischenlagerung ist fertig gestellt.
- AP7: Es wurden erste Untersuchungen zur Umsetzung von tiefergeschichteten künstlichen neuronalen Netzwerken mit verschiedenen Simulationswerkzeugen sowie zur generellen Anwendbarkeit der neuronalen Netzwerke für die nichtinvasive Überwachung von TBL durchgeführt. Daraus ging hervor, dass sich die tiefergeschichteten neuronalen Netze mit den Programmiersprachen R und Python in geeigneter Weise umsetzen lassen.
- AP8: Neben der Beschaffung wesentlicher Komponenten für den Versuchsstand zur Analyse der Messmethode Gammastrahlungsemission wurde das im Versuchsstand einzusetzende Modell für den Tragekorb und die darin befindlichen BE-Dummies konstruktiv überarbeitet. Dadurch ist jetzt die näherungsweise Nachbildung einer Vielzahl von verschiedenen Beladungskonfigurationen möglich. Erste Versuchsziele wurden definiert, z. B. die Untersuchung von Ursachen für mögliche Abweichungen zwischen Simulation und Experiment und deren Reduzierung. Die Planung und Auslegung des Versuchsstandes zur Analyse der Messmethode Thermographie wurde abgeschlossen.
- AP9: Für den Versuchsstand zur experimentellen Untersuchung der Messmethode Schwingungsanalyse wurden die Planung und Auslegung ebenfalls abgeschlossen. Für die Untersuchungen soll in abgewandelter Form der Versuchsstand für die experimentelle Analyse der Thermographie genutzt werden. Die Planung und Auslegung des Versuchsstandes zur experimentellen Untersuchung der Messmethode Schallemissionsanalyse wurde fortgeführt. Der Versuchsstand soll im Wesentlichen aus einem Berstschrack, einem Heizelement sowie einer druckluftbetriebenen Kompressoranlage bestehen. Die Aufzeichnung der Schallemissionen soll durch geeignete Instrumentierung innerhalb und außerhalb des Berstschracks erfolgen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP7: Fortführung der Entwicklungsmethoden auf Grundlage der erzielten experimentellen und simulativen Ergebnisse im Verbund.
- AP8: Fertigstellung und Inbetriebnahme des Versuchsstandes zur experimentellen Analyse der Messmethode Gammastrahlungsemission und der Messmethode Thermographie sowie Durchführung erster Experimente.
- AP9: Finalisierung des Konzeptes für den Versuchsstand zur Analyse der passiven Schwingungsspektroskopie, Beschaffung benötigter Komponenten, Inbetriebnahme der Versuchsstände für die Analyse der aktiven und passiven Spektroskopie und Durchführung der ersten Experimente.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Kratzsch A. et al.: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern; Beitrag im Jahresforschungsbericht 2016 des IPM der HSZG; Zittau 2017

Zuwendungsempfänger: Technische Hochschule Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Straße, 67663 Kaiserslautern		Förderkennzeichen: 1501538A
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Simulation der Schädigung und der induzierten Erschütterungen in Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen (SimSEB) - Teilvorhaben: Verhalten von Stahlbetonstrukturen bei Stoßbelastungen unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 15.02.2017 bis 31.07.2020	Berichtszeitraum: 15.02.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 460.820,88 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Sadegh-Azar	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel der geplanten Arbeiten ist die Weiterentwicklung und Erprobung von Analysemethoden zur Simulation der Schädigung und der induzierten Erschütterungen in Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen. Dabei sollen zur Validierung der Analysemethoden die Ergebnisse zur Thematik kürzlich durchgeführten sowie noch geplanten Aufprallversuchen bei VTT in Finnland berücksichtigt werden. Die Erprobung der Methoden soll an der Struktur eines Zwischenlagers erfolgen. Das Projekt wird im Rahmen eines Verbundvorhabens mit der GRS durchgeführt. Die Arbeiten der GRS fokussieren sich auf das Reaktorgebäude inklusive einer Kühlkreislaufschleife.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Lokales Schädigungsverhalten von Stahlbeton unter stoßartiger Belastung Untersuchungen zum Einfluss der Durchstanzbewehrung auf den Penetrationswiderstand (Tragfähigkeit) von Stahlbetonstrukturen.
- AP2: Ansätze im Zeitbereich und im Frequenzbereich zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung Untersuchung und Umsetzung der Analysemethoden im Frequenzbereich
- AP3: Verhalten von Stahlbetonstrukturen beim Aufprall von Turbinen
- AP4: Ganzheitliche nichtlineare dynamische Berechnung von Aufprallversuchen zu induzierten Erschütterungen
- AP5: Aufprallsimulationen auf reale Gebäudestrukturen unter Berücksichtigung induzierter Erschütterungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Zu Projektbeginn erfolgten eine detaillierte, internationale Literaturrecherche und eine Aktualisierung des Stands von Wissenschaft und Technik.
- AP2: Zu Projektbeginn erfolgten eine detaillierte, internationale Literaturrecherche und eine Aktualisierung des Stands von Wissenschaft und Technik.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Im weiteren Projektverlauf soll zunächst ein Ingenieurmodell, das den Perforationsvorgang von harten Projektilen realitätsnah erfasst, entwickelt werden. Dieses soll auch für die Analyse von deformierbaren Projektilen weiterentwickelt werden. Begleitet wird die Entwicklung von Kalibrierungs- und Verifikationsberechnungen, um das entwickelte Modell zu validieren.
- AP2: Zunächst sollen vielversprechende Verfahren im Frequenzbereich aus aktueller Forschung numerisch umgesetzt und validiert werden. Im Weiteren soll die numerische Umsetzung erweitert und die Praxistauglichkeit geprüft werden. Zudem soll diese für Vergleichsrechnungen, Parameterstudien und zur Evaluation von neuen Ansätzen genutzt werden.
- AP4: Im Rahmen der Teilnahme am IRIS 3 Benchmark sollen die Berechnungsmethoden zur Ermittlung der induzierten Erschütterungen erprobt, verifiziert und kalibriert werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger-Str. 1, 67663 Kaiserslautern		Förderkennzeichen: 1501543B
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer — Teilvorhaben: Besondere Berücksichtigung der werkstoffspezifischen Besonderheiten großer Stahlbetonquerschnitte sowie der zugehörigen Bestandsaufnahme		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 245.580,20 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schnell	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Verbundvorhabens besteht darin, vorhandene Methoden und Werkzeuge für probabilistische Bauwerksanalysen von Langzeitzwischenlagern weiterzuentwickeln und zu vervollständigen. Hierbei soll das Langzeitverhalten der Lagergebäude besondere Berücksichtigung finden, um Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit besser zu bewerten und ggf. durch geeignete Maßnahmen sicherstellen zu können. Die Arbeiten an der TU Kaiserslautern fokussieren sich dabei auf Besonderheiten großer Bauteilquerschnitte.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „ProbBau“. Verbundpartner ist die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Darstellung der Grundlagen für die zuverlässigkeitsorientierte Bewertung und Nachrechnung kerntechnischer Bauwerke
- AP2: Möglichkeiten der Anpassung des Zielzuverlässigkeitsindex für die Nachrechnung bestehender Bauwerke
- AP4: Erstellung einer qualifizierten Bestandsaufnahme als Grundlage für die Nachrechnung und Besonderheiten großer Querschnitte
- AP5: Verwendung von Monitoring-Maßnahmen
- AP6: Methodik zur Entwicklung der vorhandenen Zuverlässigkeit der bestehenden kerntechnischen Bauwerke
- AP7: Entwicklung einer Methodik für die zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer

Der AP3 des Verbundarbeitsplans wird ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten im Teilvorhaben starten planmäßig im Berichtszeitraum 2017-2.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Zusammenstellung der aktuellen Regelwerke und Ansätze zur zuverlässigkeitstheoretischen Bewertung und Nachrechnung bestehender Bauwerke im konventionellen Hoch- und Ingenieurbau im Rahmen einer Literaturrecherche.
- AP2: Aufbereitung gängiger Ansätze zur Modifikation des Zielzuverlässigkeitsindex für die Nachrechnung bestehender Tragwerke mit angepasster Nutzungsdauer basierend auf der Literatur sowie Prüfung der Ansätze auf Übertragbarkeit auf kerntechnische Bauwerke.
- AP4: Zusammenstellung der wesentlichen Grundlagen einer qualifizierten Bestandsaufnahme.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: RS1552
Vorhabensbezeichnung: Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung (BREZL)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 31.03.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 923.990,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stuke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung bei Fragen zur Integrität und Handhabbarkeit von Brennelementen nach verlängerter Zwischenlagerung. Der Anwendungszweck dieses Werkzeuges ist die Identifikation und Analyse der interessierenden Zeitskalen, Brennstäbe und –elemente sowie der Behälterladungen. Zur Berücksichtigung der gesamten Phänomenologie des Hüllrohrverhaltens während der Lagerphase, bestehend aus der Nasslagerung, dem anschließenden Trocknungsprozess sowie dem langsamen Abkühlen während der Lagerphase in trockener Inert-Umgebung, soll das zu schaffende Werkzeug umfassend und konsistent die relevanten Größen wie Abbrände, Hüllrohrmaterialien, Behälterladungen, Zeitdauern, Temperaturen, Drücke und Spannungen berücksichtigen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Temperaturfeldberechnung:

Erstellung einer Datenbasis bzgl. Abbrand, Nachzerfallsleistung, Nuklidinventar und Aktivität möglicher Varianten eingelagerter Brennelemente sowie von Modellen und Methoden zur Berechnung des Temperaturfeldes im Behälter über die zu betrachtenden Lagerzeiträume.

AP2: Brennstabverhalten:

Entwicklung von Modellen und Methoden zur Beschreibung der für die Hüllrohrintegrität entscheidenden Parameter unter den Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung.

AP3: Erstellung von Datenbanken und Schnittstellen:

Bereitstellung einer Datenbankstruktur für die generierten relevanten Daten sowie von Schnittstellen zwischen den für die verschiedenen Berechnungsschritte verwendeten Codes.

AP4: Verfolgung aktueller Forschungsarbeiten:

Zusammenstellung und Bewertung aktueller Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung zur Langzeittrockenlagerung sowie Austausch mit den in diese Forschung involvierten Forschungsstellen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Arbeiten zur Berechnung der Brennstabhüllrohrtemperaturen unterteilen sich prinzipiell in die Bestimmung der Nachzerfallswärmeleistung der Brennelemente und der anschließenden Simulation der resultierenden Wärmeabfuhr im Behälter. Im Berichtszeitraum wurde mittels der Codes KENOREST und TRITON die Nachzerfallswärmeleistung eines generischen DWR-Brennelements berechnet (angenommener mittlerer Abbrand 65 GWd/tSM; bis 150 Jahre nach Entladung). Zur Einarbeitung in das Programm COBRA-SFS wurde das Temperaturfeld eines TN-24P-Behälters beladen mit 15x15 BE simuliert sowie die axialen Temperaturfelder der einzelnen Hüllrohre berechnet. Zudem wurde mit der Modellerstellung eines generischen in Deutschland verwendeten TLB begonnen.
- AP2: Eine Literaturrecherche über Experimente und theoretische Modelle der Wasserstoff-Festkörperlöslichkeit in Zirkonium-Legierungen ergab u. a., dass die Löslichkeit von Wasserstoff bei bestrahlten Materialien höher ist als bei unbestrahlten. Gemäß den Experimenten hat die Spannung im Hüllrohrmaterial gegenüber der Temperatur einen sehr geringen Einfluss auf die Löslichkeit des Wasserstoffs in den Zr-Legierungen. Weiterhin zeigen die Experimente, dass die Hydrid-Auflösungs-, Bildungs- und Wachstumsvorgänge in Bezug auf die Zwischenlagerzeiträume sehr kurz sind.
Es wurde ein erstes einfaches Modell für das Lösen und Ausscheiden von Hydriden im Brennstab-Code TESPА-ROD implementiert. Die verwendeten Korrelationen beschreiben den Anteil von gelöstem und übersättigt-gelöstem sowie von als Hydrid ausgeschiedenem Wasserstoff. Die Nachrechnung von für die Trockenlagerung typischen Temperaturverläufen zeigte ein plausibles Verhalten des Wasserstoffs bzgl. des Lösens der Hydride für Temperaturen oberhalb der Löslichkeitsgrenze. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass nach einer Lagerzeit von 10 bis 15 Jahren ein Großteil des Wasserstoffs als Hydrid ausgeschieden ist.
Darüber hinaus wurden Konzepte zur Darstellung der Thermomigration von gelöstem Wasserstoff in Brennstabhüllrohren in TESPА-ROD implementiert.
- AP3: Im Berichtszeitraum wurde eine Datenstruktur im HdF5-Format für die berechneten Nachzerfallsleistungen sowie ein Skript zur automatischen Überführung von Ausgabedaten aus KENOREST und TRITON in die Datenstruktur erstellt.
- AP4: Zum Zweck des Austausches von wissenschaftlich-technischen Experten sowie zur Evaluierung der Inhalte für einen regelmäßig stattfindenden Workshop wurde ein Symposium zur verlängerten Zwischenlagerung in Behältern organisiert und durchgeführt. An dem Symposium nahmen 40 Experten aus Deutschland und der Schweiz, u. a. Vertreter der Bundesbehörden, aus Forschungseinrichtungen sowie von Betreiberseite, teil.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Bestimmung von Nachzerfallsleistungen für weitere BE, insbesondere MOX-BE.
- AP2: Untersuchung des Einflusses des Gefüges des Hüllrohrmaterials auf die Hydridlöslichkeit durch Auswertung experimenteller Daten
- AP3: Auffüllung der Datenbank und Bereitstellung von Schnittstellen und Ausleseroutinen für COBRA-SFS

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: RS1553A
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 31.03.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 341.390,00 EUR	Projektleiter: Dr. Suchard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des beantragten Vorhabens besteht darin, vorhandene Methoden und Werkzeuge für probabilistische Bauwerksanalysen von Langzeitzwischenlagern weiterzuentwickeln und zu vervollständigen. Hierbei soll das Langzeitverhalten der Lagergebäude besondere Berücksichtigung finden, um Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit besser zu bewerten und ggf. durch geeignete Maßnahmen sicherstellen zu können. Die Arbeiten bei der GRS fokussieren sich dabei auf die Entwicklung probabilistischer Methoden zur Bewertung der längerfristigen Sicherheit von Zwischenlagern.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „ProbBau“. Verbundpartner ist die TU Kaiserslautern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Darstellung der Grundlagen für die zuverlässigkeitsorientierte Bewertung und Nachrechnung kerntechnischer Bauwerke
- AP2: Möglichkeiten der Anpassung des Zielzuverlässigkeitsindex für die Nachrechnung bestehender Bauwerke
- AP3: Methodik zur Untersuchung und probabilistischen Analyse der Einwirkungen für die Bewertung und Nachrechnung der kerntechnischen Bauwerke
- AP5: Verwendung von Monitoring-Maßnahmen
- AP6: Methodik zur Entwicklung der vorhandenen Zuverlässigkeit der bestehenden kerntechnischen Bauwerke
- AP7: Entwicklung einer Methodik für die zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer

Der AP4 des Verbundarbeitsplans wird ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Eine Literaturrecherche zum Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) ergab, dass im konventionellen Bauwesen derzeit zahlreiche Aktivitäten hinsichtlich Entwicklung von Richtlinien zur Bewertung von Bestandsbauwerken laufen. Bezüglich kerntechnischer Bauwerke wurde im Rahmen der OECD/NEA Working Group on Integrity and Ageing of Components and Structures (WGIAGE) eine Aktivität zur Evaluierung der aktuellen und geplanten Nutzung bauprobabilistischer Verfahren und Regelwerke unter der Federführung der GRS initiiert. Im Rahmen der Aktivität wurde unter Beteiligung von Teilnehmern der WGIAGE (ENSI/Schweiz, EDF/Frankreich, NRC/USA und ONR/Großbritannien) ein Fragebogen erstellt und an Experten der Mitgliedsländer der OECD/NEA verteilt. Die erhaltenen Antworten zeigen zum einen die Komplexität der Problematik und zum anderen die deutlichen Unterschiede bei der Verwendung von probabilistischen Methoden bei der Bemessung und der Bewertung kerntechnischer Bauwerke im internationalen Kontext auf.
- AP3: Die Antworten auf den im Rahmen der OECD/NEA WGIAGE entwickelten Fragebogen legen zudem nahe, dass die Thematik seismischer Einwirkungen einen großen Stellenwert bei der Bewertung der Zuverlässigkeit kerntechnischer Bauwerke der meisten Länder einnimmt. Die GRS hat daher damit begonnen, Berichte des amerikanischen Electric Power Research Institute (EPRI) mit Fokus auf diese Thematik vertieft zu analysieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Fortführung der Analyse der Antworten aus dem WGIAGE-Fragebogen und Teilnahme an der internationalen Konferenz „Existing Structures“ (Veranstalter: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, TU Kaiserslautern) zur Vertiefung des Kenntnisstandes zum Stand von W&T.
- AP2: Aufbereitung der wesentlichen Grundlagen der bereits existierenden Verfahren zur Anpassung des Zielzuverlässigkeitsindex.
- AP3: Analyse der EPRI-Methodik zur Berücksichtigung bzw. Bewertung seismischer Einwirkungen mit Fokus auf eine mögliche Verwendung im Rahmen der im Vorhaben zu entwickelnden Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

2.2 Vorhaben Bereich 2 bis 5

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11061A
Vorhabensbezeichnung: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 28.02.2017
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

AP6: Fertigstellung des Syntheseberichts.

Fertigstellung einer englischsprachigen Veröffentlichung beim Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.

Das Projekt ist zum 28.02.2017 beendet worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M.; Bebiolka, A.; Jahn, S.; Lommerzheim, A.; Maßmann, J.; Meleshyn, A.; Mrugalla, S.; Reinhold, K.; Rübel, A.; Stark, L.; Ziefle, G.: Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager im Tongestein in Deutschland – Synthesebericht. TEC-19-2016-AB, DBE TECHNOLOGY, Peine, 2017.

Jobmann, M., Bebiolka, A., Burlaka, V., Herold, P., Jahn, S., Lommerzheim, A., Maßmann, J., Meleshyn, A., Mrugalla, S., Reinhold, K., Rübel, A., Stark, L., Ziefle, G.: Safety Assessment Methodology for a German High-level Waste Repository in Clay Formations. Angenommen im Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Geplante Veröffentlichung in der Oktober-Ausgabe.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11061B
Vorhabensbezeichnung: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 28.02.2017	
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 die finale Dokumentation der Projektergebnisse fertiggestellt. Die Dokumentation besteht aus insgesamt 20 Berichten, von denen die unten aufgeführten 8 Berichte von den Verbundpartnern gemeinsam erstellt wurden.

Im Rahmen der Arbeiten wurde unter Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen ein Entwurf für die Methodik eines Sicherheitsnachweises für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle im Tongestein in Deutschland erarbeitet. Die Methode besteht in der Verknüpfung von regulatorischen und geologischen Rahmenbedingungen mit der Entwicklung eines Endlagerkonzeptes, insbesondere eines Einlagerungs- und Verschlusskonzeptes und eines darauf basierenden Nachweises der Barrierenintegrität. Eine komplette Systembeschreibung im Rahmen eines FEP-Kataloges und der daraus abgeleiteten Szenarienentwicklung, die eine Beschreibung von erwarteten und alternativen Endlagerentwicklungen beinhaltet, bildet die Grundlage der Methode.

Seitens des BMU wurden 2010 Sicherheitsanforderungen aufgestellt, die allgemein formulierte Kriterien für den Integritätsnachweis einer geologischen Barriere enthalten. Diese Kriterien wurden im Rahmen des Projektes soweit quantifiziert, dass damit rechnerische Nachweise möglich sind. Kernelemente des Sicherheitskonzeptes sind drei Sicherheitsnachweise, die unabhängig voneinander erbracht werden müssen. Dies sind:

- der Integritätsnachweis für die geologische Barriere, also für das Tongestein,
- der Integritätsnachweis für das geotechnische Barrierensystem, also für die Verschlussbauwerke und
- der radiologische Nachweis, der zeigen muss, dass eine Freisetzung von Radionukliden aus dem sogenannten einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) unterhalb der festgesetzten Grenzwerte liegt.

Zu allen drei Nachweisen wurden exemplarische Berechnungen durchgeführt, die die Anwendbarkeit der Nachweismethodik bestätigen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Berichte: (www.dbe-technology.de/Mediathek/FuE-Berichte)

- Synthesebericht (erste Entwurfsfassung)
- Systemanalyse für die Endlagerstandortmodelle - Methode und exemplarische Berechnungen zum Sicherheitsnachweis (erste Entwurfsfassung)
- FEP-Katalog für das Endlagerstandortmodell SÜD
- Szenarienentwicklung für das Endlagerstandortmodell NORD
- FEP-Katalog für das Endlagerstandortmodell NORD
- Spezifische Prozessanalysen
- Code-Benchmark zur Vorbereitung numerischer Berechnungen zum Nachweis der Integrität der geologischen Barriere
- Quantifizierung von Kriterien für Integritätsnachweise im Tonstein

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 28.02.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 492.868,00 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

Die BGR Arbeiten zu den Arbeitspaketen 1 und 3 sowie die Zuarbeit zum gemeinsamen Synthesebericht sind mit Abschluss des Projektes abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M., Bebiolka, A., Jahn, S., Lommerzheim, A., Maßmann, J., Meleshyn, A., Mrugalla, S., Reinhold, K., Rübel, A., Stark, L. & Ziefle, G. (2017): Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager im Tongestein in Deutschland – ANSICHT. – DBE TECHNOLOGY GmbH, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH (GRS), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Abschlussbericht: 137 S; Peine/Braunschweig/Hannover.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2012 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.925.553,00 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 r³t 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: Fertigstellung und Dokumentation der Modellrechnungen zu dem modifizierten Testfall mit dem weiterentwickelten Transportprogramm d³f⁺⁺.
- AP2: Implementierung des konzeptionellen Modells für die Behandlung von Al in das Transportprogramm d³f⁺⁺.
- AP3: Oberflächenkomplexmodellierung zur Eu(III) SCP Bestimmung an Muskovit, 1D Transportsimulation Eu(III)-Muskovit.
Entwicklung und Anwendung einer Fehlerabschätzung der erhobenen SCP mittels Bootstrap-Verfahren.
Beginn der Dokumentation der Ergebnisse zum reaktiven Stofftransport von Eu(III).
Planung, Durchführung und Datenaufbereitung von Säulenexperimenten mit Ni, Quarz, Orthoklas.
Durchführung von Batchversuchen mit Cs an Orthoklas, Muskovit. SCP-Bestimmung für Orthoklas mit Cs.
- AP7: Durchführung eines Projekttreffens mit dem Verbundpartner HZDR in Dresden sowie von Arbeitsgesprächen zur Implementierung des konzeptuellen Modells für die Behandlung von Al.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Fertigstellung der Dokumentation der Ergebnisse zum reaktiven Stofftransport Eu(III) durch ausgewählte, reine Mineralphasen.
Auswertung und SCP-Bestimmung aus Ni- und Ca-Sorptionsdaten.
Reaktive Transportmodellierung von Säulenexperimenten: Ni mit Quarz, Orthoklas
Planung, Durchführung und Auswertung von Säulenexperimenten mit Ni im synthetischen Sediment (Quarz+Orthoklas)
Planung, Durchführung und Auswertung von Batchversuchen: Al mit Quarz. Ergänzende Versuche zu Ni mit Quarz, Orthoklas.
Vorstellung der aktuellen Ergebnisse auf der Goldschmidtkonferenz 2017 (Paris, Frankreich, Posterbeitrag sowie Vortrag)
- AP7: Erstellung des Entwurfs für den Abschlussbericht.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 30.04.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.04.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 474.726,00 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: Voruntersuchung der alternativen Einbautechnologie
- AP6: Abschluss Etappe I

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP4: Die bei den Blasversatzversuchen erstellten Probekörper wurden labortechnisch untersucht. Eine Separation des Korngemischs wurde dokumentiert. Es wurden maschinentechnische Parameter in Hinblick auf die Separierung des Korngemischs untersucht.

Qualitätssicherungsverfahren für labortechnische und In-situ-Verfahren wurden identifiziert und im Labormaßstab auf Eignung überprüft.

AP5: Beginn der labortechnischen Umsetzung eines neuartigen Versatzverfahrens.

AP6: Der Abschlussbericht wurde inhaltlich fertiggestellt. Die Versuchsplanung für das Anschlussvorhaben wurde weiter untersetzt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine, da Projektende.

Anschlussvorhaben Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 2.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2012 bis 31.03.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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 RWMC-Sitzung.
- Mitarbeit am Bericht „Set of Essential Records (SER)“ sowie Teilnahme an den beiden Arbeitstreffen der NEA Initiative „Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M)“.

- Mitarbeit bei den Aktivitäten der IGSC: Vorbereitung eines gemeinsamen Workshops von FSC/IGSC und der Topical Session „Criticality management and safeguards in DGRs.
- CAST: Durchführungen von Rechnungen zur Ausbreitung von C-14 in einem Endlager im Salz unter Berücksichtigung verschiedener Annahmen zum C-14 Quellterm.
- Teilnahme am Halbjahres-Workshop zum Projekt MODARIA-II in Brugg (Schweiz).
- Weiterführung der Arbeiten mit Sandia National Labs (SNL) zu einem gemeinsamen FEP-Katalog und zur FEP-Datenbank (www.saltfep.org), insbesondere Erweiterung der FEP-Datenbank zum Salt Knowledge Archive durch verbesserte Verwaltung von Literatur.
- Teilnahme am Treffen der Arbeitsgruppe zu Radionuklidinventaren in CSD-V und CSD-C Abfällen in Paris.
- Fertigstellung der Arbeiten zu dreiwertigem Eisen und Teilnahme am Arbeitstreffen zum NEA State-of-the-art report „High ionic-strength solutions“ mit Diskussion der Ergebnisse.

TA2:

- Für den Aufsättigungsversuch mit begrenzter Wasserzufuhr wurde die Testkonfiguration so abgeändert, dass die Wasserzufuhr per Spritzenpumpe direkt in die Zelle erfolgt. Die Einleitung gelingt bis jetzt nicht ganz gleichmäßig. Erste Ergebnisse erscheinen aber aussagekräftig. Diese deuten auf eine schnelle Umverteilung des Wassers in der Probe hin.
- Zusammenstellung von Analoga-Studien in Ton und Bewertung im Hinblick auf ein deutsches Sicherheitskonzept für ein Endlager in einer Tonformation.

4. Geplante Weiterarbeiten

TA1:

- Teilnahme an den Sitzungen der IGSC Core Group und der IGSC mit Leitung der Topical Session.
- Teilnahme am gemeinsamen Workshop von FSC und IGSC zum Thema „Safety Case Communication“.
- Weiterführung der Arbeiten zum NEA Projekt „Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M)“ und Teilnahme am nächsten Treffen in Paris.
- Ausrichtung des nächsten Treffens zum AK HAW-Produkte.
- Abschluss und Dokumentation der Arbeiten zum Projekt CAST.
- Dokumentation des State-of-the-Art zu mikrobiellen Effekten im tiefen Untergrund.
- Fertigstellung des Entwurfs zum NEA State-of-the-art report „High ionic-strength solutions“ und Beginn des Peer Reviews.
- Mitarbeit an einem zusammenfassenden Bericht über die Auswirkungen von Mikroben in einem Endlager in Salz im Rahmen des Salt Clubs.
- Teilnahme am Jahres-Treffen zum Projekt MODARIA-II in Wien.

TA2:

- Teilnahme am Workshop der Task Force EBS in Lund.
- Fortsetzung der Versuche zur Bentonitaufsättigung und Vorstellung der bis dahin verfügbaren Ergebnisse auf der Clay Conference im September in Davos.
- Weiterführung und Dokumentation der Arbeiten zu Analoga-Studien in Ton.

5. Berichte, Veröffentlichungen

NEA-OECD: Communication on the Safety Case for a Deep Geological Repository. NEA No. 7336. OECD 2017

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 28.02.2017	
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

AP1: Fertigstellung des Abschlussberichts.

Das Projekt ist zum 28.02.2017 beendet worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M.; Flügge, J.; Gazul, R.; Hammer, J.; Herold, P.; Krone, J.; Kuate Simo, E.; Kühnlenz, T.; Laffiard, E.; Lommerzheim, A.; Meleshyn, A.; Müller, C.; Rübel, A.; Wolf, J.; Zhao, H.: Investigation on long-term safety aspects of a radioactive waste repository in a diagenetic clay formation – Final report. TEC-32-2016-AB, DBE TECHNOLOGY, Peine, 2017

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2012 bis 28.02.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 28.02.2017
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 verbliebenen Berichtszeitraum wurde die finale Dokumentation der Projektergebnisse fertiggestellt. Als wesentliches Ergebnis lässt sich folgendes festhalten:

Die aktuellen Ergebnisse der Deutsch-Russischen Zusammenarbeit geben einen zusammenfassenden Überblick über die vielseitigen standortspezifischen Sicherheitsuntersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle im Tongestein in der Leningrader Region. Die Untersuchungen wurden in den letzten Jahren von BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY GmbH durchgeführt in Zusammenarbeit mit russischen Organisationen, die an der Erkundung des Standortes und der Endlagerplanung beteiligt waren. Die Untersuchungen waren hauptsächlich auf langzeitliche Aspekte der Endlagerung ausgerichtet, speziell auf die Wirkung der geologischen und der geotechnischen Barrieren. Es war nicht Ziel, eine vorläufige Sicherheitsanalyse durchzuführen. Nichtsdestotrotz tangieren diese Untersuchungen eine Reihe von Aspekten, die im Rahmen einer Sicherheitsanalyse für Ton als Wirtsgestein zu berücksichtigen sind, und die Ergebnisse können als ein Leitfaden für notwendige zukünftige Untersuchungen angesehen werden. Dies betrifft unter anderem

- die Entwicklung eines Verschlusssystems. Es konnte gezeigt werden, auf welche Weise ein Endlager in der Tonformation verschlossen werden kann und wie ein Funktionsnachweis der Barrierekomponenten erbracht werden kann
- die strömungstechnische Analyse. Spezifische Charakteristiken des Strömungsregimes konnten simuliert werden. Aufgrund der aktuellen Datenlage sind allerdings noch keine belastbaren Aussagen zum strömungsbasierten Transport von Radionukliden an die Oberfläche möglich. Wohl aber lassen sich Informationen ableiten, die anhand von Standorterkundungen gewonnen werden sollten, um belastbare Aussagen zu erzeugen
- die radiologische Analyse. Es konnte aufgezeigt werden, dass analog zu anderen Untersuchungen in Tongesteinen auch in diesem Fall die Radionuklide C-14, Cl-36, Se-79 und I-129 wesentliche Freisetzungskomponenten darstellen

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M., Flügge, J., Gazul, R., Hammer, J., Herold, P., Krone, J., Kuate Simo, E., Kühnlenz, T., Laggiard, E., Lommerzheim, A., Meleshyn, A., Müller, C., Rübel, A., Wolf, J., Zhao, H. (2017): Investigation on long-term safety aspects of a radioactive waste repository in a diagenetic clay formation – Final Report –, TEC-32-2016-AB, DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR, GRS, Peine, Hannover, Braunschweig.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2013 bis 31.08.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.881.392,00 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 kann in den Schwerpunkt 3 der Technologie-Plattform (IGD-TP): "Plugging and Sealing" eingeordnet werden.

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: Die Teilberichte zu AP1.4 liegen vor.

AP2: Alle Planungen für weitere In-situ-Versuche und einen weiteren Technikumsversuch (HTV-5) liegen vor.

AP3: Durchführung von Versuchen zur Messung der Scherviskosität von einem Destillationsbitumen (AZALT 70/100) und einem Oxidationsbitumen (STELOX 85/25) im Temperaturbereich (25 – 75) °C und Übergabe der Daten an DBE TECHNOLOGY.

AP4: Die Dichtheitsprüfung der In-situ-Bohrlochversuche mit Asphaltelelementen im Steinsalz wurde abgeschlossen: Versuch ASP1 Lösungspemeabilität $< 2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ (Gaspermeabilität $< 4 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$, Gebirgspemeabilität $2 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2$). Versuch ASP2 Lösungspemeabilität $< 6 \cdot 10^{-21} \text{ m}^2$ (Gaspermeabilität $< 3 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ und $< 2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$, Gebirgspemeabilität $1 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2$). In beiden Fällen konnte keine messbare Umströmung der Dichtelemente festgestellt werden.

Der In-situ-Bohrlochversuch zum Einbau von Bitumen im Tongestein wurde abgeschlossen und die Temperaturentwicklung im Bitumen und dem umliegenden Gebirge gemessen.

Für den Gesenkversuch wurden 20 t Salzgrus-Ton-Gemisch hergestellt.

Die Vorbereitungen des Großbohrlochversuches mit einem Pfropfen aus MgO-Beton C3 sind abgeschlossen.

Beginn des Sandwich-Technikumsversuchs HTV-5 mit einem neuen Bentonitgemisch aus Calcigel und einer Flüssigkeitsdruckbelastung mit Pearson-Water.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Keine weiteren Arbeiten.

AP2: Keine weiteren Arbeiten.

AP3: Keine weiteren Arbeiten.

AP4: Einbau der In-situ-Bohrlochversuche mit einer Bitumen-verfüllten Schottersäule und einem Asphalt-dichtelementes im Kaolin (übertägiger Standort im Ton – AP4.5).

Durchführung des zweiten Gesenkversuchs zur Verdichtung von Salzgrus-Ton-Gemisch (AP4.1).

Herstellen des Großbohrloches im Steinsalz in der Grube Teutschenthal, Einbau der Instrumentierung und des MgO Betons C3 (AP4.3).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fachgespräch Verschlussysteme: Konzepte, Baustoffe, Simulation, Demonstration und Anwendung, Freiberg 03.05. - 04.05.2017. Tagungsband in Vorbereitung.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2013 bis 31.08.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.074.607,85 EUR	Projektleiter: Herold	

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

AP1.4.1:

Im Berichtszeitraum wurde die Bearbeitung des APs (Verbesserung des Verständnisses der zeitlichen und spannungsabhängigen Entwicklung der ALZ im Bereich des

vorgesehenen Dichtungsstandortes im Schacht) abgeschlossen. Die durchgeführten Simulationen zeigten, dass sich unter Berücksichtigung des Porendrucks und der effektiven Spannungen die Auflockerungszone im Schachttiefsten auf knapp 20 m vergrößert. Eine Auswertung der Permeabilitätsberechnungen ergibt, dass in 625 m Teufe die Permeabilität senkrecht zur Schachtkontur, d. h. in Richtung der Schichtung durch den Schachtausbruch an der äußersten Gebirgskontur (10 cm Tiefe) um fast zwei Größenordnungen steigt. Parallel zur Schachtkontur steigt die Permeabilität in 10 cm Gebirgstiefe auf den im Stoffmodell definierten Maximalwert auf $1 \cdot 10^{-16}$ m². Demnach ergibt sich parallel zur Schachtwandung gegenüber der senkrechten Richtung eine um ca. eine Größenordnung höhere Permeabilität. Das anisotrope Permeationsverhalten des intakten Tongesteins, mit einer bevorzugten Fließrichtung entlang der Schichtung, wird durch den Schachtausbruch im Bereich der Auflockerungszone in eine bevorzugte Fließrichtung parallel zur Schachtkontur transferiert. Zusätzlich wurde der Einfluss des Wärmeeintrags in Folge des Heißeinbaus von Bitumen auf die ALZ untersucht. Die Berechnungen zeigen, dass bei einem realistischen, schichtweisen Einbau kaum zusätzliche Schädigungen zu erwarten sind. Auch im Fall einer unrealistischen instantanen Verfüllung einer 50 m mächtigen Säule ist die zusätzliche Schädigung durch thermo-mechanische Prozesse minimal und damit vernachlässigbar. Marginale Permeabilitätsveränderungen begrenzen sich auf den konturnahen, bereits stark geschädigten Bereich (Abstand kleiner ein Meter). Ein Nachschnitt von 50 cm Tiefe wirkt sich aufgrund der erneut induzierten Spannungsumlagerungen nachteilig auf die Permeabilität aus. Allerdings erfolgte der Nachschnitt modelltechnisch bedingt ungünstig durch das instantane Entfernen von Zonen, d. h. eines rechtwinkligen Gebirgsausschnitts. Die damit einhergehende Entlastung in den hangenden Gebirgsbereichen führt zu einer Permeabilitätserrhöhung in den betrachteten Gebirgsbereichen und ließe sich evtl. durch einen abgerundeten oder abgeflachten Nachschnitt in Teilen vermeiden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Schachtausbruch und die damit einhergehenden Dehnungen und Spannungsumlagerung bestimmend für die Permeabilitätsveränderungen des Tongesteins sind. Die thermo-mechanischen Prozesse des Heißeinbaus des Bitumens sind demgegenüber vernachlässigbar.

- AP5: Die Arbeiten zum Bitumenstoffgesetz und der Simulation von Schottersäulen mit Hilfe eines partikelbasierten Codes wurden weitergeführt. TU Bergakademie stellte die Messergebnisse der zusätzlichen Bitumenversuche zur Verfügung. Vorbereitend zur numerischen Modellierung wurden diese zunächst ausgewertet.
- AP6: Die Ergebnisse des AP1.4.1 wurden in Abstimmung mit der TU Bergakademie Freiberg in einem Teilbericht dokumentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP5: Die Teilarbeitspakete zum Bitumenstoffgesetz und der Simulation von Schottersäulen werden entsprechend der Vorhabensbeschreibung weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

P. Herold, C. Müller, E. Kuate Simo, V. Burlaka, T. Wilsnack: ELSA II – Modellierungen zu Bitumen- und Bentonitdichtsystemen im Tongestein, Fachgespräch Verschlussysteme, Freiberg, Mai 2017

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			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2013 bis 30.09.2017		Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.055.923,00 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 im Bereich eines Schachtverschlusses für ein Endlager in Salzformationen. 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 zur Verfügung zu stellen.

Das Vorhaben wird in Kooperation mit dem Vorhaben LAVA 2 (Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen) 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: 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

Das Vorhaben LASA-EDZ wird in Kooperation mit dem Vorhaben LAVA 2 (Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen) der GRS durchgeführt. Es hat sich herausgestellt, dass die neu entwickelte Methodik mit kombinierten Prüfkörpern auch zur Präparation geeigneter Probekörper für Advektionsversuche herangezogen werden kann. Gegenwärtig laufen dazu noch weitere Versuche mit unterschiedlicher Minimalspannung. Es ist zu erwarten, dass diese Ergebnisse zur Erstellung des Abschlussberichts vorliegen.

Während die gewonnenen Daten zur Permeabilitätsreduzierung im Rahmen LAVA 2 eher von untergeordnetem Wert sind, da sie ja der Vorbereitung des eigentlichen Advektionsversuches dienen, werden diese Daten herangezogen, um dann auch im Hinblick auf die modelltheoretischen Untersuchungen Auskunft über dominierende Prozesse geben zu können.

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 bzw. unterstützend wirksam ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss experimenteller Untersuchungen
- Durchführung orientierender modelltheoretischer Untersuchungen
- Erstellung des Abschlussberichts

5. Berichte, Veröffentlichungen

Czaikowski, O., Hertel, U; Jantschik, K.; Wieczorek, K.: Hydraulic evolution of the contact zone and the EDZ around a seal component in rock salt. SALTMECH IX, Hannover 2018,
- in Vorbereitung -

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2014 bis 31.03.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 707.450,00 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

Bestimmung von temperaturabhängigen Sorptionsisothermen im Ofen:

Das Sorptionsgleichgewichts bei den Bentonitproben unter unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten, die in Exsikkatoren über verschiedenen Salzlösungen platziert und in einem Wärmeschrank bei 90 °C gehalten worden waren, wurde im Berichtszeitraum erreicht. Daraufhin wurde die Temperatur im Wärmeschrank wieder auf 60 °C abgesenkt.

Durch verschiedene Schwierigkeiten (temperaturabhängige Löslichkeit, Salzkristallbildung im Feuchte- und Temperatursensor) sind inzwischen drei Exsikkatoren ausgefallen. Die bis einschließlich zur Stufe mit 90 °C gewonnenen Datenpunkte zeigen das erwartete Verhalten und konsistente Wassergehalte.

Testmessungen einer Isotherme mit dem VSA:

Die Gerätetests hatten letztlich Probleme mit der extrem empfindlichen Waage ergeben. Nach Einschicken des Geräts arbeitete der VSA einwandfrei. Erste auswertbare Ergebnisse für MX-80 liegen vor. Dabei zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung des statischen wie auch des dynamischen Messverfahrens mit den ungewöhnlich detaillierten Messungen von Kahr et al. (1986).

Motiviert durch diese Übereinstimmung wurden analytische Funktionen für die Adsorptions- und die Desorptionsisotherme für die Implementierung im Experimentalcode VIPER entwickelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Entsättigung im Wärmeschrank bei 60 °C. Bei Erreichen des Gleichgewichts zwischen Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt Auswertung der Daten und Herabsetzen der Temperatur auf 30 °C.
- Fortsetzung der Messungen mit der VSA zur Bestimmung der Scanlines für den Übergang zwischen Adsorptions- und Desorptionsisotherme. Herleitung geeigneter analytischer Funktionen zu deren Beschreibung.
- Implementierung der analytischen Isothermen in VIPER und Beginn der Modellrechnungen.

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			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2014 bis 30.06.2018		Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.011.080,00 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

AP2.4 + AP2.5:

Im Berichtszeitraum wurde begonnen, die Randbedingungen für die geplante Auslegungsoptimierung (AP2.4) zusammenzustellen und die bestehenden numerischen Modelle zu erweitern.

Für die geplante Untersuchung der Einsatzfähigkeit der Rückholungsvorrichtung (mELVIS) auch während des Einlagerungsbetriebs wurde ebenfalls begonnen die Randbedingungen zusammenzufassen. Vorbereitend zur geplanten Machbarkeitsstudie zum Plateauwagen wurde mit der Erstellung eines Anforderungskataloges begonnen.

AP3: Die Bearbeitung der Rückholungs-/Einlagerungsvariante Streckenlagerung im Tongestein wurde im Berichtszeitraum abgeschlossen. Ergänzend zu den mit Hilfe der Klimavorausberechnung ermittelten Temperaturen wurde der zusätzliche technische Kühlbedarf bestimmt. Zusätzlich wurden verschiedene Varianten der Wetterführung und Sonderbewetterung simuliert und deren Einfluss auf die Temperaturverteilung in den Wetterwegen analysiert. In Abhängigkeit der vorhandenen Gebirgstemperatur um die Rückholungsstrecke scheint eine saugende Sonderbewetterung mit einer zusätzlichen technischen Kühlung während des Rückholungsbetriebes technisch umsetzbar. Diese Konfiguration ist aus wettertechnischer Sicht ungünstiger zu bewerten als eine blasende Sonderbewetterung, bietet aber deutliche Vorteile für die Belange des Strahlenschutzes und die Kontrolle einer möglichen Kontaminationsverschleppung.

AP5: Die Projektergebnisse des Vorhabens werden in je einem Teilbericht zu jeder Einlagerungs- bzw. Rückholungsvariante dokumentiert. Zusätzlich werden die Ergebnisse aller APs in einem Abschlussbericht zusammengefasst. Im Berichtszeitraum wurden Entwürfe für die Teilberichte der Bohrlochlagerung in Salz- und Tongestein erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2.4: Die Auslegungsoptimierung erfolgt mit dem bereits vorhandenen Modell, zunächst über thermo-mechanische Berechnungen mit der bestehenden Einlagerungskonfiguration. Ziel ist es die Temperatur als Funktion der Behälterbeladung zu ermitteln. In einem weiteren Schritt und mit einem neuen Modell wird anschließend die Einlagerungskonfiguration angepasst.

AP2.5: Für die Untersuchung der Einsatzfähigkeit der Rückholungsvorrichtung (mELVIS) auch für den Einlagerungsbetrieb soll zunächst der Anforderungskatalog für den modifizierten Plateauwagen vervollständigt werden. Im Weiteren wird der potenzielle Betriebsablauf der Einlagerung erarbeitet, ggf. notwendige konzeptionelle Anpassungen werden dabei identifiziert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

P. Herold, M. Jobmann: EMPLACEMENT AND RETRIEVAL CONCEPTS FOR GERMAN SF/HLW REPOSITORIES IN CLAYSTONE, IHLRWM 2017, Charlotte, North Carolina, USA, April 2017

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2014 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.560.517,33 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 Streckenlagerexperiment 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: Weiterentwicklung von VIRTUS für den Einsatz in Tonstein
- AP8: Mine-By Experiment (MB-A) in der sandigen Fazies (mit BGR und Swisstopo)
- AP9: Technical und Steering Meetings

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Messungen des Porendrucks in der Umgebung des FE-Tunnels dauern an und liefern aussagekräftige Ergebnisse. Das vorläufige dreidimensionale Finite-Element-Modell des FE Experiments, das mit Hilfe von VIRTUS angelegt und getestet wurde, wird noch um die Spritzbetonauskleidung des Tunnels erweitert.
- AP2: Der HE-E Versuch wurde weitgehend störungsfrei weitergeführt. Der Buffer im zentralen und erhitzernahen Bereich ist immer noch entsättigt, und der tunnelnahe Gebirgsbereich steht noch unter Saugspannung. Mit dem mittels VIRTUS erstellten 3D-Modell wird derzeit eine thermisch-hydraulisch gekoppelte Simulation mit realistischer Geometrie mit CODE_BRIGHT durchgeführt.
- AP3: Seit 2009 werden mit einer in einem horizontalen Bohrloch eingebauten Dilatometersonde die Langzeitverformung des Bohrlochquerschnitts sowie ergänzend Temperatur und Luftfeuchte gemessen. Es ist weiterhin eine stetige, nur sehr langsam abnehmende Bohrlochkonvergenz messbar.
- AP4: Die Porendruckmessungen im Experiment SB-A wurden abgeschlossen.
- AP5: Das Experiment wurde beendet, eine Abschlusswartung wird noch durchgeführt.
- AP6: Zur Bestimmung des Einflusses des Wassergehalts auf die Festigkeit des sandigen OPA-Tonsteins wurden Uniaxialdruckversuche durchgeführt, wobei eine starke Steigerung der einaxialen Druckfestigkeit von ca. 10 MPa auf ca. 50 MPa bei Abnahme des Wassergehalts von 4.3 % auf 0.6 % festgestellt wurde. Mechanische Schädigung und Permeabilitätsänderung des sandigen Tonsteins wurden in triaxialen Druckversuchen untersucht. Die Daten werden noch ausgewertet.
- AP7: Seit Mai 2017 steht ein neues detailliertes Modell der Mont Terri Geologie zur Verfügung, das in VIRTUS übernommen wird.
- AP8: Mit den Versuchspartnern wurden mehrere Planungsgespräche geführt.
- AP9: Teilnahme am Technical Meeting im Februar und an den Steering Meetings im März und Mai 2017.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Messungen in den laufenden Experimenten
- THM-Simulation der Aufheizphase im FE Experiment (unter Einsatz von VIRTUS)
- 3D-Modellierung (TH und THM) des HE-E (unter Einsatz von VIRTUS)
- Modellierung der Bohrlochverformung in DM-A mit viskosen Ansätzen
- Weitere Laborexperimente an Proben der sandigen und karbonatreichen Fazies
- Import des neuen geologischen Modells in VIRTUS
- Durchführung des Mine-By Experiments

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Bossart, P., F. Bernier, J. Birkholzer, C. Bruggeman, P. Connolli, S. Dewonck, M. Fukaya, M. Herfort, M. Jensen, J.-M. Matray, J.C. Mayor, A. Moeri, T. Oyama, K. Schuster, N. Shigeta, T. Vietor, K. Wiczorek (2017): Mont Terri rock laboratory, 20 years of research: introduction, site characteristics and overview of experiments. *Swiss Journal of Geosciences*, 110
- Wiczorek, K., I. Gaus, J.C. Mayor, K. Schuster, J.-L. García-Sineriz, T. Sakaki (2017): In-situ experiments on bentonite-based buffer and sealing materials at the Mont Terri rock laboratory (Switzerland). *Swiss Journal of Geosciences*, 110
- Yu, C., J.-M. Matray, J. Gonçalvès, D. Jaeggi, W. Gräsle, K. Wiczorek, T. Vogt, E. Sykes (2017): DB Experiment - Comparative study of methods to estimate hydraulic parameters in the hydraulically undisturbed Opalinus Clay. *Swiss Journal of Geosciences*, 110

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 bis 30.11.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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 Ausbreitungspfad im einschlusswirksamen Gebirgsbereich auswirkt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten verfolgten zwei Schwerpunkte: die Untersuchung der Bildung von gemischten Mg/Fe(II)-Phasen und die Prüfung der Existenz von Fe(II)-Analoge.

Bei Synthesen von Hibbingit, $(\text{Fe,Mg})(\text{OH})_3\text{Cl}$ wurden Hinweise auf die Bildung von Amakinit, $(\text{Fe,Mg})(\text{OH})_2$ gefunden. Diese Phase ist in der Literatur selten beschrieben und wurde bislang bei Korrosionsversuchen nur sporadisch gefunden. Eine neue Versuchsreihe widmet sich der Frage nach den Bildungsbedingungen, der möglichen Bandbreite an Zusammensetzungen und den thermodynamischen Eigenschaften.

Der Einbau von Magnesium in Chukanovit, $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ wurde in einer weiteren Messreihe untersucht. Außer beim Versuch mit dem höchsten Magnesiumanteil (90 %) zeigten alle Feststoffe ein einheitliches XRD-Bild: In allen diesen Fällen ist Chukanovit bzw. eine Phase ähnlicher Struktur nachweisbar. Bei Versuchen mit sehr hohem Mg/Fe-Verhältnis wird zudem eine Phase gefunden, die Ähnlichkeiten mit Pokrovskit, $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{CO}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ aufweist. Weitere Analysen werden ihre Identität und Zusammensetzung aufklären.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Anwesenheit von gelöstem Magnesium grundsätzlich mit der Bildung von Fe/Mg-Mischphasen zu rechnen ist. Ob und welche Mischphasen mit Calcium auftreten, ist noch zu klären.

Ein Versuch ein Eisen(II)-Analogon des Northupits $\text{Na}_3\text{Mg}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$ herzustellen, führte selbst in fast gesättigter NaCl-Lösung nur zu Siderit, FeCO_3 . Ebenso wenig gelang ein Nachweis der Bildung eines Fe(II)-Analogons von Kambaldait, $\text{Na}_2\text{Ni}_8(\text{CO}_3)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Die Reaktion führte stattdessen zu Chukanovit, $\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$. Es ist aber nicht auszuschließen, dass unter etwas anderen Bildungsbedingungen eine solche Verbindung auftreten könnte.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Synthesen von gemischten eisen(II)- und magnesiumhaltigen Festphasen. Synthese und Charakterisierung von Fe(II)-haltigen Analoga von basischen Nickel- und Cobalt-Verbindungen. Synthese von Grüner-Rost-Verbindungen. Prüfung der Bildung von Fe(II)/Ca-Mischphasen.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2014 bis 30.09.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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 Kontaktflächen 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 Advektionsversuche an den kombinierten Prüfkörpern wurden im 1. Halbjahr 2017 weiter fortgeführt. Bei den beiden Prüfkörpern, die Ende des 2. Halbjahres 2016 aus den Autoklaven ausgebaut und in Advektionszellen (keine Manteldruck) umgebaut worden waren, konnte nach erneuter Durchströmung mit NaCl Lösung eine erneute Abnahme der Permeabilität beobachtet werden. Es lässt sich also annehmen, dass im vorliegenden Fall ein Schließen der Kontaktfuge auch ohne die Einwirkung einer Minimalspannung erfolgen kann. Nach dem die Permeabilität wieder auf Werte $< 10\text{-}18 \text{ m}^2$ reduziert worden war, wurde die Durchströmung mit einer MgCl_2 Lösung (nahe IP21) fortgeführt. Hierbei konnte ein Permeabilitätsanstieg um etwa eine Größenordnung beobachtet werden. Im weiteren Verlauf änderte sich die Permeabilität nicht mehr signifikant.

Weiterhin wurden drei neue kombinierte Prüfkörper in den Autoklaven hergestellt. An diesen konnte die Beobachtung, dass bei einer Minimalspannung von 10 bar und Durchströmung mit einer gesättigten NaCl Lösung die integrale Permeabilität des Prüfkörpers abnimmt, ebenfalls bestätigt werden. Nachdem jeweils eine Permeabilität gegenüber der NaCl Lösung von $< 10\text{-}18 \text{ m}^2$ erreicht war, wurde die Lösung ebenfalls gegen eine MgCl_2 Lösung getauscht. Auch hier wurde an zwei Prüfkörpern, analog zu den Versuchen mit kombinierten Prüfkörpern in den Advektionszellen, ein Anstieg der Permeabilität um etwa eine Größenordnung beobachtet, die bei weiterer Durchströmung jedoch nahezu konstant blieb. In dem dritten Prüfkörper wurde die Lösung erst zu Ende des 1. Halbjahres gewechselt, sodass hierzu noch keine Messdaten vorliegen.

Die Messung des kombinierten Prüfkörpers im geo-PET des HZDR ist abgeschlossen. Die Messung zeigte, ergänzend zu dem Eindringen der getracerten Lösung in die Kontaktfuge, das über die Versuchslaufzeit auch eine Diffusion des Tracers in den Salzbeton hinein erfolgte. In das Steinsalz hingegen konnte keine Diffusion beobachtet werden.

AP2: Um eine bessere Übereinstimmung zwischen den experimentell ermittelten Daten aus dem Kaskadenversuch im System Salzbeton / MgCl_2 Lösung und den Modellrechnungen zu erhalten, wurde die lokale Kopie einer aus THEREDA heruntergeladenen Parameterdatei (R-06) um die festen Lösungen aus der cemdara07.dat ergänzt. Jedoch konnte auch mit diesem Schritt kein besseres Modellierungsergebnis erreicht werden. Nach wie vor stellt sich das Problem, dass nicht alle Phasen, die an dem Korrosionsprozess zwischen Salzbeton und MgCl_2 Lösung beteiligt sind, identifiziert zu sein scheinen. Um eine bessere Modellanpassung zu erreichen, sind also weitere experimentelle Methoden erforderlich.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der Advektionsversuche in Advektionszellen und Autoklaven.
Fertigstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jantschik, K., Czaikowski, O., Moog, H.C., Wiczorek, K. (2017): CHM-coupled long-term evolution of seals in rock salt repositories, IHLRWM Conference 2017, Paper, North Carolina (USA)

Jantschik, K.; Czaikowski, O. (2017): Aktuelle Untersuchungen der Dichtfunktion zementbasierter Baustoffe bei Durchströmung mit salinärer Lösung, Fachgespräch Verschlussysteme 2017, Freiberg

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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: Durch die neue Interpretation der Impedanz-Spektren, wie bereits in unserem letzten Jahresbericht informiert, konnte herausgefunden werden, dass die Ionenmobilität eher aus dem Niederfrequenzbereich berechnet werden kann.

Die Länge der Messzelle spielt daher nur eine sekundäre Rolle, anders als ursprünglich angenommen. Aus diesem Grund wurde eine kleinere Zelle gebaut, die bessere Ergebnisse liefert, störende induktive Effekte vermeidet und nur kleine Elektrolytmengen verbraucht (5 ml). Erfolgreiche Versuche wurden erstmal mit einem rudimentären Zellaufbau durchgeführt. Eine Zelle mit Wasserzirkulation für die Einstellung der Messtemperatur befindet sich gerade in der Konstruktion.

- AP3: Die gelungene neue Einrichtung des TDR-Sensors lieferte vernünftige Daten der komplexen Dielektrizitätszahl von salinaren Lösungen (CsCl-, KCl-, NaCl-, MgCl₂-CaCl₂-, Na₂SO₄ und K₂SO₄) bis Konzentrationen von 1.3 mol Kg⁻¹ bei Raumtemperatur. Eine Interpretation der dielektrischen Spektren bei hohen Frequenzen durch eine Debye-Funktion lässt sich aus der Änderung der statischen Dielektrizitätszahl mit der Konzentration bestimmen. Diese Werte werden für die Auswertung der Impedanzdaten verwendet. Das Verhalten der dielektrischen Spektren bei Niederfrequenzen zeigen interessante Tendenzen mit steigender Konzentration, die eine Verbindung zur Ionenmobilität vermuten lässt.
- AP5: Der durch dieses Projekt eingestellte Doktorand zeigt immer noch eine große Motivation an den experimentellen Arbeiten. Außerdem kommt er seinen Verpflichtungen an der Universität problemlos nach.
- AP5: Ein Treffen fand am 20. Juli statt zur Besprechung des Fortschrittes der geplanten Arbeiten, der technischen Schwierigkeiten der experimentellen Ansätze sowie des weiteren Vorgehen bzgl. Kooperationen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Systematische Messungen von CsCl-, KCl-, NaCl-, MgCl₂- CaCl₂-, Na₂SO₄ und K₂SO₄-Lösungen mit dem neuen aufgebauten TDR-Sensor bei T von 0 bis 80 °C.
- Fortsetzung der systematischen Messungen von CsCl-, KCl-, NaCl-, MgCl₂- CaCl₂-, Na₂SO₄ und K₂SO₄-Lösungen mit der Impedanzanlage und Auswertung im Bereich 1.3 mol Kg⁻¹ bis zur Sättigung bei 25 °C.
- Fortsetzung der elektrochemischen und spektroskopischen Experimente des U(IV)/U(VI)-Redoxsystems bei neutralen Systemen am HZDR.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine in diesem Berichtszeitraum.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 259.275,00 EUR	Projektleiter: Dr. Steudtner	

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

AP3.2:

- Absorptionsspektroskopische Untersuchungen zum Einfluss von Sulfat auf die U(IV)-Speziation in Lösung bei Variation von pH-Wert, Ionenstärke wurden durchgeführt. Präzisierung der in der Literatur gefundenen Komplexbildungskonstanten für den $U(SO_4)^{2+}$ Komplex und $U(SO_4)_2$ Komplex (pH 1) mit Hinweis auf eine weitere Sulfat-Spezies bei höheren Sulfatkonzentrationen.
- Durchführung von TRLFS für U(IV)-Speziationsuntersuchungen am U(IV)-Sulfat-System bei Raumtemperatur und Bestimmung der Fluoreszenzlebensdauer.
- TRLFS-Messungen an U(IV)-Referenzlösungen (Perchlorat, Chlorid, Sulfat) bei Raum- und Tieftemperatur. Dabei konnte keine U(IV)-sulfat Lumineszenz beobachtet werden. Weiter führende Untersuchungen deuten auf einen statistischen Quenchprozess hin.
- Fluorometrische Messungen im Bereich 0 - 60 °C im System U(IV)-Sulfat. Im betrachteten Bereich konnte ein quadratischer Anstieg der Intensität mit sinkender Temperatur beobachtet werden.
- Synthese von kristallinem U(IV)-sulfat. Bestätigung mit single crystal – XRD.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3.2:

- Abschließen der Löslichkeitsversuche und Spektroskopie (TRLFS, UV-vis, eventuell EXAFS) zum Einfluss von Sulfat auf die U(IV)-Speziation.
- Weitere Untersuchungen der Eignung von TRLFS für U(IV)-Speziationsuntersuchungen an verschiedenen anorganischen Liganden.
- Durchführung von TRLFS für U(IV)-Speziationsuntersuchungen am Sulfat-System bei Tieftemperatur.
- Einfluss der Parameter pH-Wert und Ionenstärke auf das Fluoreszenzverhalten am U(IV)-Sulfat System.
- Vollständige Charakterisierung des kristallinen U(IV)-sulfat mittels Thermogravimetrie, Infrarotspektroskopie, powder-XRD und Fluoreszenzspektroskopie.

AP3.4:

- Vertiefende Einarbeitung in Chemometrie zur Spektreninterpretation und daraus resultierender Bestimmung von Komplexbildungskonstanten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

S. Lehmann, R. Steudtner, V. Brendler: U(IV) fluorescence spectroscopy – A new speciation tool. Annual Report 2016 Institute of Resource Ecology, Wissenschaftlich-Technische Berichte HZDR-079, 2017

E. Ritter: Einfluss von Temperatur und Sulfat auf die Uran(VI)-Speziation im aquatischen System, Master-Arbeit Technische Universität Dresden, 2016

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2014 bis 30.11.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

- 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

- Manuskript von Altmaier et al. zu „Solubility of U(VI) in chloride solutions. I. The stable oxides/hydroxides in NaCl systems, solubility products, hydrolysis constants and SIT coefficients” wurde im Journal of Chemical Thermodynamics angenommen.
- Abschluss der Festphasencharakterisierung in den Redoxexperimenten. Ein Entwurf des Manuskripts (Cevirim et al.) zu “Uranium redox processes in dilute to concentrated saline systems” wurde erstellt und ist intern bei INE in Revision.
- Löslichkeitsexperimente mit U(VI) in KCl-Systemen wurden inklusive der Festphasenanalytik abgeschlossen. Ein Manuskript wird erstellt.
- Ein umfassendes Pitzer-Modell für U(VI) in NaCl, KCl und MgCl₂ Systemen wurde erstellt. Eine Publikation ist geplant.
- Löslichkeitsexperimente mit U(IV) in verdünnten bis konzentrierten NaCl-, MgCl₂- und CaCl₂-Lösungen unter Karbonatausschluss werden weitergeführt. Eine neue analytische Methode (ICP-MS Microinjektion) wird jetzt angewendet um niedrigere Nachweisgrenzen realisieren zu können.
- Löslichkeitsexperimente mit U(IV) im System NaCl-NaHCO₃-Na₂CO₃ wurden fertiggestellt. Es wurde nachfolgend ein thermodynamisches SIT-Modell entwickelt.
- TRLFS-Analysen der U(VI)-Speziation in konz. CaCl₂-Lösungen sind abgeschlossen.
- Neue Löslichkeitsexperimente mit Ca₂UO₂(CO₃)_{3-x}H₂O(cr) wurden in verdünnten bis konzentrierten NaCl Lösungen initiiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Einreichung des Manuskripts (Cevirim et al.) zu “Uranium redox processes in dilute to concentrated saline systems”.
- Einreichung des Manuskripts (Cevirim et al.) zu „Solubility of U(VI) in dilute to concentrated KCl systems“.
- Fertigstellung des Manuskripts zu „Pitzer model for U(VI) in NaCl, KCl and MgCl₂ solutions“.
- Abschluss der Löslichkeitsexperimente mit U(IV) in verdünnten bis konzentrierten NaCl-, MgCl₂- und CaCl₂-Lösungen unter Karbonatausschluss. Erstellung eines Manuskripts.
- Erstellung eines Manuskripts zu “Solubility of U(IV) im NaCl-NaHCO₃-Na₂CO₃ systems. Comparison with Th(IV)“.
- Abschluss der Löslichkeitsexperimente mit Ca₂UO₂(CO₃)_{3-x}H₂O(cr) in verdünnten bis konzentrierten NaCl Lösungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Publikation: Altmaier et al.: „Solubility of U(VI) in chloride solutions. I. The stable oxides/hydroxides in NaCl systems, solubility products, hydrolysis constants and SIT coefficients”, Journal of Chemical Thermodynamics (2017), DOI:doi.org/10.1016/j.jct.2017.05.039.

Vortrag: Yalcintas et al.: „Redox chemistry and solubility of uranium in dilute to concentrated NaCl systems: impact of carbonate and EDTA“, ABC-Salt Workshop '17, Ruidoso, NM (USA), 26-29 March 2017.

Vortrag: Yalcintas et al.: „Redox behavior of U(VI)/U(IV) and solubility of U(IV) in repository relevant dilute to concentrated solutions in the absence and presence of complexing ligands“, ACS meeting, San Francisco, CA (USA), 1-6 April 2017.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 712.363,00 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 Hapitionkonzentrationen der reagierten Lösungen sollen erfasst werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden 11 von insgesamt geplanten 84 Quelldruck- und Permeabilitätsversuchen Ende Februar erfolgreich beendet und ausgewertet und 20 weitere am 7. Juni gestartet. Beim Versuch, die Experimente Anfang April zu starten, fiel die automatische Datenerfassung aus, die zuvor im Betrieb mit 12 Messzellen die Quelldruckwerte einwandfrei erfasst hatte. Anscheinend war sie für den Betrieb von 20 Messzellen nicht ausgelegt worden und dadurch überlastet, was sich in einem Schmorgeruch manifestierte. Die Datenerfassung wurde zur Reparatur eingeschickt, und ein Ersatz wurde erst Ende Mai bereitgestellt. Der Start der zweiten Messkampagne verzögerte sich wegen des Ausfalls und sich bis dahin ereigneten Lieferengpässe beim notwendigen Zubehör um insgesamt drei Monate.

Anfang Januar wurde im laufenden Quelldruck- und Permeabilitätsversuch eine neue Syringe-Pumpe in Betrieb genommen anstelle der Pumpe, die (wie im 2. HJB 2016 beschrieben) mit der eingesetzten Salzlösung Bauart-bedingt Leckagen hatte und instabil funktioniert hatte.

Es wurden vier Batches bei 25 °C, acht Batches bei 60 °C und 21 Batches bei 90 °C Mitte März und Anfang April 2017 teilweise gemeinsam mit dem Verbundprojektpartner aus Rosendorf beprobt. Somit wurden alle 50 Batches mit einer Reaktionszeit von einem Jahr bei den genannten Temperaturen wie geplant beprobt und die Unterproben dem Verbundprojektpartner aus Uni-Greifswald zur Verfügung gestellt.

Die 17 Batchversuche mit einer Reaktionszeit von einem Jahr bei 120 °C wurden Ende Januar in Alloy-Behältern angesetzt.

Die ICP-OES und Dichtemessungen der bei 25 °C reagierten Lösungen wurden durchgeführt. Die Messungen der Wasseraufnahmekurve der untersuchten Bentonite in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte wurden bei 31 % und 58 % durchgeführt und bei 75 % gestartet.

Die Messungen des Fe(II)/Fe(III)-Gehaltes wurden für zwei Standards, zwei Ausgangsmaterialien und fünf reagierte Bentonitproben aus mikrobiellen Versuchen durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Die Quelldruck- und Permeabilitätsmessungen der vier Ausgangsbentonite und eines Teils der Proben mit einer Reaktionszeit von einem Jahr werden fortgesetzt. Die Quelldruck- und Permeabilitätsmessungen der restlichen Bentonite mit einer Reaktionszeit von einem Jahr werden im Anschluss durchgeführt.
- Die Batches mit einer Reaktionszeit von zwei Jahren bei allen untersuchten Temperaturen und mit einer Reaktionszeit von einem Jahr bei 120 °C werden fortgesetzt.
- Die ICP-OES und Dichtemessungen der reagierten Lösungen werden fortgesetzt.
- Die Messungen des Fe(II)/Fe(III)-Gehaltes für reagierte Bentonitproben aus mikrobiellen Versuchen mit einer ein- bzw. zweijährigen Reaktionszeit werden fortgesetzt.
- Die Messungen der Wasseraufnahmekurve der untersuchten Bentonite in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte werden fortgesetzt.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Der Einfluss unterschiedlicher Parameter (Porenlösung, Vorhandensein von Substraten, Temperatur) auf die mikrobielle Diversität der Bentonit-Proben wurde analysiert. Nach einem Jahr Inkubation erfolgte am 14.03.2017 die sterile Beprobung bei der GRS in Braunschweig von folgenden Proben: SD80/B36, jeweils versetzt mit Opalinustonporenlösung oder verdünnter Gipshutlösung mit und ohne Substrat (50 mM Azetat, 50 mM Laktat und AQDS), inkubiert für ein Jahr bei 25 °C, 60 °C und 90 °C. Insgesamt sollen 24 Proben bezüglich ihrer mikrobiellen Diversität analysiert werden. Es ist bis jetzt gelungen die DNA von 6 Proben (einschließlich der Ausgangs-Bentonite) erfolgreich zu isolieren, zu vervielfältigen und zu sequenzieren: SD80-Ausgangsmaterial; SD80-Opa-25 °C_+S; B36-Ausgangsmaterial; B36-Opa-25 °C_+S; B36-Gips-25 °C_+S; B36-Gips-25 °C. Die beiden Ausgangs-Bentonite zeigen bereits deutliche Unterschiede hinsichtlich ihrer mikrobiellen Zusammensetzung. Der Bentonit SD80 weist die drei dominanten Gattungen *Oscillatoria* (15 %), *Ralstonia* (32 %) und *Stenotrophomonas* (53 %) auf. Der Bentonit B36 zeigt diesbezüglich eine deutlich höhere Diversität, wobei die Gattungen *Saccharopolyspora* (12 %), *Pseudonocardia* (13 %), *Curvibacter* (16 %), *Bradyrhizobium* (6 %) und *Methylovirgula* (7 %) dominieren. Innerhalb der genannten Gattungen im Ausgangsmaterial von SD80 finden sich viele Vertreter bekannter Boden-Organismen, die sich durch eine aerobe/anaerobe Lebensweise und durch die Bildung von Überdauerungsformen (Sporen, Akineten) auszeichnen. Diese verleihen den betreffenden Organismen Resistenz gegenüber harschen Bedingungen. Interessant erscheint die Entwicklung von SD80 nach einjähriger Inkubation bei 25 °C, mit Opalinustonlösung und Substrat. Die Probe wird nun von Sulfat-reduzierenden Bakterien dominiert: *Desulfitobacterium* (50 %), *Desulfosporosinus* (8 %), und *Desulfotomaculum* (8 %). Aber auch die DNA von sporenbildenden, teilweise strikt anaeroben Bakterien wie *Vulkanibacillus* (9 %), *Clostridium* (4 %) und *Bacillus*-Arten (0,7 %) konnte nachgewiesen werden. Der betreffende Bentonit SD80 wies am Tag der Beprobung eine deutliche graublau Verfärbung mit lokal auftretenden schwarzen Flecken und einer oben aufgelagerten schwarzen Schicht auf. Zudem konnte die Bildung sulfidischer Verbindungen olfaktorisch am geöffneten Gefäß nachgewiesen werden (H₂S-Bildung).

Vertreter der im Bentonit B36 anwesenden Gattung *Saccharopolyspora* sind aerobe, sporenbildende Bakterien und können unter harschen Bedingungen lange überdauern. So auch in den analysierten B36-Ansätzen der GRS bei 25 °C mit verdünnter Gipshutlösung mit und ohne Substrat. In diesen Ansätzen ist die Gattung, ähnlich wie im Ausgangsmaterial, mit einem Anteil von je 12 % vertreten. Die Ansätze von Bentonit B36 bei 25 °C zeigen nach einem Jahr Inkubation Unterschiede in der mikrobiellen Zusammensetzung. So kommen im Ansatz mit Opalinuston-Porenlösung und Substrat fast ausschließlich Arten der Gattung *Bacillus* vor (99 %). In den Ansätzen mit verdünnter Gipshut-Lösung und Substrat dominiert dagegen *Marinobacter* (45 %) und in den gleichen Ansätzen ohne Substrat *Bacillus oleronius* (35 %). Arten der Gattung *Bacillus* zeichnen sich durch die Bildung von Sporen aus. Bei *Bacillus oleronius* handelt es sich um einen Organismus, welcher von auf der Haut vorkommenden Milben isoliert wurde. Hier ist nicht auszuschließen, dass der Organismus durch die nicht sterile Arbeitsweise in den Ansatz gelangt ist und durch die Bildung von Sporen überdauert. Für Spezies der Gattung *Marinobacter* sind viele extremophile Lebensweisen beschrieben. So beispielsweise auch halophile oder halotolerante (Salz-liebende bzw. -tolerante) Vertreter, für welche die sehr salzhaltige, verdünnte Gipshutlösung kein Selektionsnachteil bedeutet.

Die bisherigen Analysen zeigen, dass die mikrobielle Diversität, je nach gewählten Bedingungen, stark variieren kann. Des Weiteren handelt es sich bei den identifizierten Mikroorganismen hauptsächlich um Sporenbildner, welche selbst unter den harschen Bedingungen der Bentonit-Behandlung (Zerkleinerung, Trocknung) wieder zu vegetativen, metabolisch aktiven, Zellen auskeimen können, wenn die Bedingungen es erlauben. Besonders bedeutend ist die Anwesenheit und Aktivität von Sulfat-reduzierenden Bakterien im Bentonit SD80.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die DNA der übrigen Ansätze soll isoliert und sequenziert werden, um die Entwicklung der mikrobiellen Diversität vor allem auch bei höheren Temperaturen (60 °C und 90 °C) beurteilen zu können und erhaltene Daten auch mit den übrigen Daten der GRS in Braunschweig, der TU-München und der Uni-Greifswald vergleichen zu können. Die metabolische Aktivität von Mikroorganismen könnte zum Verstehen möglicher mineralogischer und geophysikalischer Veränderungen/ Beobachtungen beitragen. Weiterhin wird die Anreicherung von Mikroorganismen angestrebt. Hierzu wurde während der Beprobung ein Teil der Flüssigphase entnommen und in substrathaltiges Medium überführt. Einige Ansätze zeigen bereits mikrobielles Wachstum. Die Mikroorganismen sollen in Reinkultur überführt und phylogenetisch analysiert werden.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Die Probenahme der einjährigen Batchversuche bei 25, 60 und 90 °C wurde im April 2017 abgeschlossen und mit der tonmineralogischen Analytik der GRS Reaktionsprodukte (AP8) begonnen. Zunächst wurden die Proben dialysiert, um die entsprechenden Salze aus den bei den Experimenten eingesetzten Lösungen wieder zu entfernen. So konnte an den ersten Reaktionsprodukten (25 °C; 90 °C) XRD Messungen zur Bestimmung des Mineralbestands und chemische Analysen mittels XRF durchgeführt werden. Die Abtrennung der <2 µm Fraktion für Herstellung der orientierten Präparate (XRD) ist in Bearbeitung. Die FT-IR Messungen zur Bestimmung des Ausmaßes veränderter Smektitpartikel werden an der TU Darmstadt durchgeführt. Die erste Probenreihe mit einer Reaktionszeit von 1 Jahr in Gipschlösung bei 25 °C ist in Auftrag gegeben. In Rücksprache mit den Partnern des HZDR, die insbesondere bei den Ansätzen mit Substrat, Opalinustonlösung und einer Temperatur von 25 °C die höchste mikrobielle Diversität und Aktivität erwarten, wurde die <2 µm Fraktion der mikrobiellen Proben B36 und SD80 mittels TEM auf die Anwesenheit von Mikroben hin untersucht. Im Rahmen des AP7 sind die experimentellen Arbeiten vollständig und die analytischen Arbeiten nahezu vollständig abgeschlossen. Die zusätzlich im Programm aufgenommenen fünf chinesischen GMZ-Bentonitproben (in Kooperation mit BGR Hannover) bestätigen auch experimentell das theoretisch erwartete Verhalten eines weitgehend langsam reagierenden Bentonits („sleeper“). Die Rolle des hohen Zementationsgrades durch Quarz und/oder Si-Gele ist noch im Detail mit seinem Einfluss auf das Reaktionsverhalten zu prüfen. Die theoretisch erwarteten Unterschiede zwischen GMZ Ca und GMZ Na sind nicht zu belegen. Die Probe GMZ-Na erwies sich in der Zwischenschicht ebenfalls als Ca-dominiert. Die vietnamesischen Proben aus einem Profil unter einem Basaltfluss zeigten experimentell erwartungsgemäß das Verhalten von schnell reagierenden Smektitphasen („sprinter“). Die in den früheren Arbeiten ausgehaltenen zwei verschiedenen Grundtypen als Mechanismus beim Ablauf von Alterationsprozessen (Typ A, Typ B) konnten bestätigt werden. Es läuft aktuell die detaillierte Auswertung der Analytik, insbesondere mit dem Fokus, inwieweit die TEM-Daten mit den Ergebnissen aus XRD & FTIR ausführlicher als bislang konzipiert korreliert und ergänzt werden können. In Bezug auf den Verwertungsplan wurden erste TEM-EDX Ergebnisse auf der internationalen Tagung der Clay Minerals Society in Edmonton (Posterbeitrag) und während des ABM Meetings im Äspö Hard Rock Laboratory in Schweden präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die mineralogische und chemische Charakterisierung der Reaktionsprodukte der einjährigen Batchversuche wird mit den bekannten Methoden (XRD, XRF, CEC, FT-IR, STA, TEM) zeitnah abgeschlossen. Die erhobenen Daten der Ausgangsmaterialien (AP1) dienen als Referenz und werden denen der Reaktionsprodukte gegenübergestellt. Aufgrund des bestehenden Abhängigkeitsverhältnisses zur GRS und der zeitlichen Verzögerung des Beginns der Batchversuche, wird bis Ende des Jahres 2017 lediglich die Analytik der einjährigen Batchreihe beendet. Die Beprobung der einjährigen Batches bei 120 °C und die der Batches nach zweijähriger Reaktionszeit erfolgt bei einer potentiellen Projektlaufzeitverlängerung ab Ende Januar bis Ende März 2018, wobei die entsprechende Analytik auch auf diese Proben angewandt wird.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Podlech, C.; Grathoff, G.; Kasbohm, J. & Warr, L.N. (2017): Advances in quantifying smectite composition by TEM-EDX mapping with applications for monitoring bentonite alteration. Research Poster presented on the 54th annual meeting of the Clay Minerals Society in Edmonton

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 31.12.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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: Referenzminerale; AP2: Eisensubstitutionen in Smektiten; AP3: Eisensubstitutionen an Smektitoberflächen

Vergleiche von Kristallgittern mit verschiedenen relativen Verschiebungen der Tetraeder- und Oktaederschichten (AP1) ergaben, dass die energetisch günstigere Struktur in Modellen ohne Zwischenschichtwasser vom Gegenkation abhängt. Damit sind bekannte Strukturbestimmungen anhand von K-Smektiten nur mit Vorsicht auf die hier untersuchten Na-Smektite zu übertragen.

Systematische Untersuchungen zu oktaedrischen Fe(III)-Substitutionen in Pyrophyllit und Smektiten (AP2) wurden fortgeführt und erweitert, insbesondere um Trends in experimentellen Datensätzen der BGR Hannover und des IFG Karlsruhe zu untersuchen und möglichst zu

erklären. Zu diesem Zwecke wurde ergänzend ein gemischter Modellsmecktit der Ladung $q = -0.5$ mit einer tetraedrischen und einer oktaedrischen Substitution sowie bis zu zwei oktaedrischen Fe(III)-Substitutionen berechnet. Energien der Erzeugung einer Fe(III)-Substitution wurden neu bestimmt und auf Fe(III)- und Al(III)-Monohydroxidkomplexe in Lösung bezogen, was in etwa neutralem pH entspricht. Die Daten bestätigen, dass der Einbau von oktaedrischem Fe(III) in Smektiten leichter ist als in Pyrophyllit und durch tetraedrische Substitutionen die endotherme Einbauenergie sinkt. Wie für Beidellit ist für den gemischten Smektit die transvakante Struktur bevorzugt, trotz oktaedrischer Mg^{2+} -Substitution. Auf der Suche nach den Gründen für die Unterschiede in der Substitutionsenergie von Fe(III) an verschiedenen Gitterplätzen wurden die Volumina von Sauerstoffoktaedern um verschiedene oktaedrische Al^{3+} -Ionen verglichen. Deren geringe Variation im Bereich eines Prozents korreliert mit den geringen Energieunterschieden der Fe(III)-Substitution (bis zu etwa 10 kJ/mol) für Modellminerale mit weniger als zwei oktaedrischen Substitutionen. Für den Fall mehrerer oktaedrischer Substitutionen wird nach weiteren geometrischen Gründen gesucht, die die berechneten Unterschiede zwischen verschiedenen Plätzen der Fe(III)-Substitution erklären.

Untersuchungen zu Fe(III)-Substitutionen an Smektitoberflächen (AP3) wurden zunächst für Pyrophyllit als Modellmineral eines lokal substitutionsfreien Smektit am Beispiel der (010)-Kantenfläche unternommen. Modelle mit einer oktaedrischen Fe(III)-Substitution in der zweiten Kationenschicht unter der Oberfläche zeigen gegenüber Pyrophyllit nur eine geringfügig erhöhte Oberflächenenergie. Für zwei Fe-Substitutionen und damit einen Fe-Anteil von $\frac{1}{4}$ der oktaedrischen Kationen steigt die Oberflächenenergie um bis zu 6 %. Fe-Substitutionen an der Oberfläche erniedrigen jedoch die Oberflächenenergie um etwa 20 % pro Fe-Substitution. Dies ist ein Hinweis, dass sich oktaedrisches Fe(III) an Smektitkantenflächen anreichert. Erste Ergebnisse aus laufenden Rechnungen zu Montmorillonit- und Beidellitmodellen mit der Schichtladung $-0.25 e$ bestätigen diese Tendenz.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Eisensubstitutionen in Smektiten

AP3: Eisensubstitutionen an Smektitoberflächen

AP4: Eisenadsorption an Smektitoberflächen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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 und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2015 bis 31.08.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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. Das Problem wird gezielt in einer Serie von Laborstudien untersucht und um ausführliche Stakeholder-Interviews ergänzt, um sowohl theoretisch als auch empirisch fundierte Lösungsansätze zur Bewältigung der Herausforderungen im Prozess der Endlagersuche zu erarbeiten.

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 geht somit auf eine begleitende Diskussion mit Experten und eine Literaturrecherche zurück. Damit soll für jede Untersuchungseinheit bzw. für jeden Analyseschritt ein gewisses Maß externer Validität gewährleistet werden. Zudem geben die Interviews wesentliche Impulse zur Hypothesenbildung.

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum lief die nächste Variationsrunde der Experimente an, wobei zeitgleich an der technischen Realisierung flexibler Erhebungsmethoden gearbeitet wurde. Planung und Design der Experimente der nächsten Variationsrunde erfolgte im engen Abgleich mit den parallel ausgewerteten Interviews sowie mit begleitender Konsultation von Stakeholdern. Die eigentliche Durchführung der Experimente musste jedoch durch Verzögerungen bei der Programmierung (Ausfall eines Projektmitarbeiters) zeitlich zurückgestellt werden. Im Zuge der nachgeholt Programmierarbeiten ergab sich die Chance zur Entwicklung einer unabhängigen, zuverlässigen und vor allem flexiblen Erhebungsmethode für experimentelle Daten. Diese Software-Plattform, mit dem Arbeitstitel „WOPEE“ (Web-Oriented Platform for Economic Experiments), stellt damit ein wesentliches Ergebnis des ersten Halbjahres 2017 dar. Sie wird ab sofort für die Umsetzung der Experimente verwendet und macht die Entwicklung und Anpassung unabhängig von den Angeboten Dritter. Sie ermöglicht zudem den schnellen Transfer der Experimente auf andere Betriebssysteme, Geräte und Netzwerkumgebungen. Auch größere Online-Experimente wären nun mit einem eigenen Produkt realisierbar, was gerade für die Untersuchung von Akzeptanzproblemen von Vorteil ist, die eine größere und repräsentative Probandengruppe erforderlich macht. Die nun folgende Experimentserie wurde designt, programmiert und wird zeitnah durchgeführt. Daneben wurde die zeitintensive Auswertung der Interviews vorangetrieben, welche in verschiedene Publikationen münden soll.

4. Geplante Weiterarbeiten

Mit der neuen Experimentplattform können die Experimente nun nacheinander in verschiedenen Treatments (Variation der zu beobachtenden Variablen) umgesetzt und ausgewertet werden. Im Zuge einer möglichen Verlängerung des Projekts erwarten wir zudem die Möglichkeit, Mediendaten zu beziehen, die Aufschluss über die Frequenz und Tonalität der medialen Berichterstattung in Frankreich, Deutschland und der Schweiz auf nationaler sowie an ausgewählten Lagerstandorten auf lokaler Ebene geben. Diese Daten lassen sich im Idealfall als Indikatoren für die Akzeptanz der Standorte verwenden.

Weitere Interviews sollen (ebenfalls durch die Mittel der Projektverlängerung) mit Entscheidern und Akteuren an ausländischen Standorten durchgeführt werden. Sie sollen die Ergebnisse des Projekts um einen Blick auf mögliche „Best Practices“ und die Erfahrungen in anderen Ländern im Stakeholder-Management erweitern.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Schmidt, H.-M., Finantz, P., Wiens, M., Schultmann, F. (2017): WOPEE: A web-oriented platform for economic experiments. Angenommener Beitrag auf der Jahrestagung der Gesellschaft für experimentelle Wirtschaftsforschung. 18.-20. September 2017, Kassel.

Schmidt, H.-M., Schindler, M.R., Wiens, M., Schultmann, F. (2017): Old Ditches, New Frontiers? – Stakeholders’ Perceptions of Gorleben and Their Claims towards a New Approach for Finding a Repository in Germany. Angenommener Beitrag auf der ENTRIA-Abschlusskonferenz, 26.-28. September 2017, Braunschweig.

Schmidt, H.-M., Wiens, M., Schultmann, F. (2017): The Search for a Final Repository in Germany: Results of a Series of Stakeholder Interviews and Economic Experiments. Angenommener Beitrag auf der ENTRIA-Abschlusskonferenz, 26.-28. September 2017, Braunschweig.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2015 bis 31.05.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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 Radionuklidlösungskonzentration im Nahfeld
- Ableitung von Löslichkeitsgrenzen
- Überprüfung der Auswirkung neuer oder aktualisierter Löslichkeitsgrenzen auf die Ergebnisse von Langzeitsicherheitsanalysen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuche zur Bestimmung der Löslichkeit von Spaltelementen in Salzlösungen wurden fortgesetzt. Im Fokus standen Experimente in Lösungen, die an Halit und Anhydrit gesättigt waren. Erste Ergebnisse werden im zweiten Halbjahr erwartet. Für Samarium, Niob, Selen und Zirkonium wurden Ausgangsverbindungen für Löslichkeitsexperimente hergestellt.

Es wurde begonnen theoretische und empirische Methoden zusammenzustellen, die eine qualifizierte Schätzung von Ionenwechselwirkungsparametern erlauben. Untersucht wurden insbesondere Ansätze zur Korrelation von Wechselwirkungsparametern mit Ladung/ Ionenradius, Analogiemodelle aufgrund ähnlicher chemischer Struktur, Korrelationen zwischen Wechselwirkungsparametern verschiedener Modell (SIT/Pitzer) und additive Modelle basierend auf den Eigenschaften der Komponenten von Komplexen. Ein besonderes Spezifikum des Pitzer-Modells sind die ternären Wechselwirkungskoeffizienten, ohne die eine zuverlässige Anwendung in salinaren Lösungen nicht möglich ist. Es wird ein Programm entwickelt, das es ermöglicht ternäre und binäre Parameter für Spezies zu bestimmen, deren Löslichkeit so klein ist, dass eine direkte Bestimmung binärer Parameter nicht möglich ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortsetzung der Versuche zur Bestimmung der Löslichkeit von Spaltelementen in ausgewählten salinaren Lösungen.

Untersuchung von Analogien und Korrelationen für ausgewählte Wechselwirkungen zwischen Spaltelement-Spezies und Hintergrundsalzionen.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Als eine Randbedingung für die Entwicklung von Monitoring-Konzepten wurde vorgesehen, die Endlagerkonzepte aus dem laufenden Forschungsvorhaben ANSICHT zu verwenden, im Rahmen dessen ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager in einer Tonformation in Deutschland entwickelt wurde. Aus den dortigen Endlagerkonzepten wird zunächst die Option vertikale Bohrlochlagerung verwendet.

Zur Ausarbeitung eines Monitoring-Programms ist geplant, den sogenannten „Parameter-Screening“ Prozess zu nutzen, der im Rahmen des MODERN2020 Projektes entwickelt wird. Dieser Screening Prozess hat zum Ziel, diejenigen Parameter zu identifizieren, die geeignet sind, Informationen über die Entwicklung des Endlagers im Bereich einzelner geotechnischer Barrieren zu liefern, um zu bewerten, ob die Barrieren ihre vorgesehenen Funktionen erfüllen. Ein erster Entwurf des Screening-Prozesses lag zu Beginn des Berichtszeitraums vor. Anhand des Verschlusses für die Einlagerungsbohrlöcher aus dem ANSICHT-Verschlusskonzept wurde dieser Screening-Prozess hinsichtlich Sinnfälligkeit und Handhabbarkeit getestet.

Es zeigte sich, dass die Anwendung für das ausgewählte Verschlussbeispiel prinzipiell möglich und sinnvoll ist. An einigen Stellen bzw. Schritten dieses Prozesses besteht allerdings noch Verbesserungspotenzial. Die Ergebnisse dieses Tests und auch die sich daraus ergebenden Verbesserungsvorschläge wurden sowohl in einem internen Bericht, dem Test-Case-Report, dokumentiert, als auch auf dem dazu durchgeführten Workshop in Frascati, Italien (28.-29.06.2017) den Projektpartnern des MODERN2020 Projektes vorgestellt und eingehend diskutiert. Daraufhin wurde festgehalten, eine Update-Version des Screening-Prozesses zu erarbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Test der neuen Version des Screening-Prozesses nach dessen Verfügbarkeit.
- Weiterentwicklung eines Monitoring-Konzeptes für das Endlagerkonzept der vertikalen Bohrlochlagerung, speziell des Verschlusskonzeptes, aus dem ANSICHT Projekt. Hierbei soll insbesondere Bezug genommen werden auf die Aussagen des Berichtes der Endlagerkommission, der Ende 2016 vorgelegt wurde und auf die Sicherheitsanforderungen, die seitens des BMUB im Jahr 2010 vorgelegt wurden.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 363.017,00 EUR	Projektleiter: Kühnlenz	

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 schließt auch die Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein solches Endlager ein. Das erste Teilziel ist die Herleitung von generischen geologischen Modellen inklusive Modellparametern als Grundlage für die Gruben- gebäudekonzeption und Auslegungsberechnungen. Das zweite und dritte Teilziel sind die Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes sowie die Entwicklung von technischen Konzepten für Endlagerbergwerke für vier verschiedene 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 für eine sicherheitstechnische Bewertung von Endlagern in unterschiedlichen geologischen Formationen geschaffen.

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

Der im Rahmen des AP2 zu erstellende Abschlussbericht „Entwicklung generischer geologischer Modelle“ wurde entsprechend dem Bericht der Endlagerkommission und aktuellen Berechnungsergebnissen um das Kapitel "Standortauswahl-Kriterien eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle" ergänzt und befindet sich in der Fertigstellungsphase.

Sowohl von der BGR als auch von IfG wurden die thermomechanischen Berechnungen für die Einlagerungsvariante Streckenlagerung durchgeführt. Die BGR führte die Berechnungen mit einem reduzierten E-Modul jeweils für den Buntsandstein und den Hauptanhydrit sowie mit einem reduzierten E-Modul gleichzeitig für Buntsandstein und Hauptanhydrit durch. Die Berechnungen zeigten, dass die Reduzierung des E-Moduls des Hauptanhydrits kaum Auswirkungen hat. Dies betrifft sowohl das Fluiddruckkriterium als auch die minimalen Hauptspannungen sowie die deviatorischen Spannungen. Bisherige Unterschiede zwischen den Berechnungen von IfG und BGR liegen in den unterschiedlichen Modellierungen des Buntsandsteins. Im AP4-Bericht wird begründet, warum die Steifigkeitsreduzierung für den Gesteinskörper des Buntsandsteins angemessen erscheint (Reduktion des Matrix-E-Moduls im Kontinuumsmodell aufgrund vorhandener Klüftigkeit). Der Bericht befindet sich in der Bearbeitung.

Die thermomechanischen Berechnungen wurden parallel zu den Arbeiten im IfG für die Einlagerungsvarianten Streckenlagerung und horizontale Bohrlochlagerung durchgeführt. Die berechneten Ergebnisse über die Temperaturen, die vertikalen Verschiebungen sowie die minimalen Hauptspannungen aus beiden Modellvarianten zeigten keinen signifikanten Unterschied. Das liegt daran, dass der Wärmeeintrag in beiden Modellen als Flächenwärmequelle berücksichtigt wurde. Die thermomechanischen Analysen für den Typ "Flache Lagerung" sind seitens BGR abgeschlossen. Die Berechnungsergebnisse zum Fluiddruckkriterium bei der Streckenlagerung zeigen eine Verletzung des Kriteriums am Salzspiegel sowie rechts und links im Bereich AM3. Nach rund 260 Jahren ist das Kriterium wieder erfüllt. Der sichere Einschluss wird dadurch nicht beeinträchtigt, weil über dem Einlagerungshorizont noch eine rund 300 m mächtige Salzfolge unbeeinflusst bleibt. Die Ergebnisse für die Temperaturentwicklung und die vertikale Verschiebung für die horizontale Bohrlochlagerung sind ähnlich zu denen bei der Streckenlagerung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung der Auswirkungen der Modellgröße auf die Ergebnisse,
- die thermomechanischen Berechnungen für das Modell "Typ Salzkissen" werden erfolgen, sobald das Endlagerkonzept von DBE TEC vorliegt,
- Aufbau der TM-Modelle für den Typ "Salzkissen" (vertikale Bohrlochlagerung),
- Zusammenstellung der Arbeiten und Ergebnisse in den Abschlussberichten von AP2 und AP4.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Kühnlenz, T. (2016): First results of the KOSINA-project: technical concepts and geological and numerical modeling - 7th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design and Operation, Washington, D.C.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend zuständig für AP1, AP5, AP7 und AP8

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Planungsarbeiten im AP5 "Entwicklung von Endlagerkonzepten" für die beiden Einlagerungsvarianten "vertikale Bohrlochlagerung" und "Transport- und Lagerbehälterlagerung" für den betrachteten geologischen Typ "Salzkissen" wurden abgeschlossen. Mittels thermischer Auslegungsberechnungen wurden die geometrischen Parameter (Behälter-, Strecken- und Bohrlochabstände) berechnet. Auch für diese Konzepte wurde gezeigt, dass die Auslegungstemperatur von 200 °C an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt im Grubengebäude überschritten wurde. Die Grubengebäudeplanungen wurden ebenfalls für beide Varianten fertiggestellt. Die Ergebnisse der thermischen Auslegungsberechnungen, der Temperaturverteilungsberechnungen im Grubengebäude bis zu 100.000 Jahren sowie der Planungen der Grubengebäude wurden dokumentiert und den Projektpartnern zur weiteren Verwendung bei den Integritätsanalysen und Konsequenzenanalysen bereitgestellt.

Die Arbeiten zur Analyse der Betriebssicherheit wurden weitergeführt. Die Betriebsabläufe für die vier Einlagerungsvarianten sowie dazugehöriger sicherheitsrelevanter Komponenten, Einrichtungen und Prozesse wurden weiter untersucht, beschrieben und bewertet.

Mit den Planungen zu Verfüll- und Verschlussmaßnahmen für die betrachteten vier unterschiedlichen Einlagerungsvarianten wurde begonnen; wobei als Grundlage das von GRS erarbeitete Sicherheits- und Nachweiskonzept genutzt wurde. Ebenso wurden dazu die Zwischenergebnisse aus dem AP6 Radiologische Konsequenzenanalyse berücksichtigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Schwerpunkt der Arbeiten wird im AP5 "Entwicklung von Endlagerkonzepten" der Abschluss der Konzeption der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen und die entsprechende Dokumentation sein sowie die zusammenfassende Beschreibung der Transport- und Einlagerungstechnik.

Im Rahmen des AP7 "Bewertung der Betriebssicherheit" werden die Analysen von Schwachstellen und deren Bewertung mit Schwerpunkt auf der Variante Einlagerung in horizontalen Bohrlöchern sein.

Mit den Arbeiten zum Synthesebericht wird begonnen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 525.090,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kindlein	

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 Grubenbaukonzeption 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

GRS ist federführend für die Arbeitspakete 3 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden im Berichtszeitraum insgesamt 3 Arbeitsgespräche mit den vier am Projekt beteiligten Organisationen (GRS, BGR, DBE TECHNOLOGY und IfG) durchgeführt. Die diskutierten Inhalte betrafen vor allem die Entwicklung der geologischen, geomechanischen und radiologischen Rechenmodelle, der Berechnung der Temperaturentwicklung im Endlager sowie die radiologischen Konsequenzenanalysen. Die Arbeiten in den Arbeitspaketen waren:

- AP2: Diskussion des Abschlussberichts sowie der Standortauswahl-Kriterien.
- AP3: Entwurf des Abschlussberichts für Sicherheits- und Nachweiskonzepte für ein Endlager in flach lagernden Salzstrukturen, Konzept für den Umgang mit Ungewissheiten. Der Entwurf des Abschlussberichts wurde für die Teilbereiche Sicherheitskonzept und Nachweiskonzept fortgeschrieben. Aufbauend auf den fertig gestellten Sicherheits- und Nachweiskonzepten wurden weiterhin Konzepte entwickelt, wie mit Ungewissheiten (Modell-, Parameter- sowie Szenarienungewissheiten) umgegangen werden soll.
- AP4: Diskussion der geomechanischen Modellrechnungen zur Integritätsanalyse. Begleitung der gebirgsmechanischen und thermischen Modellrechnungen für die Einlagerungsvarianten Bohrlochlagerung und Direkte Endlagerung von TLB.
- AP5: Diskussion und Optimierung der Endlagerauslegung für die Varianten vertikale Bohrlochlagerung und Direkte Endlagerung von TLB für den Typ Salzkissen. Ableitung von Temperaturverläufen für diese Endlagervarianten und Übernahme der Ergebnisse als Input für radiologische Modellrechnungen in AP6.
- AP6: Durchführung von radiologischen Modellrechnungen, Diskussion der Ergebnisse. Die Arbeiten zur radiologischen Konsequenzenanalyse wurden im Berichtszeitraum intensiv fortgeführt. Auf Grundlage der bereits durchgeführten Testrechnungen und des Basisfalls für die Variante Streckenlagerung wurden deterministische Modellrechnungen für die Endlagervarianten horizontale und vertikale Bohrlochlagerung durchgeführt. Hierfür wurden speziell angepasste Modellsegmente für die Einlagerungsgebiete zum Einsatz gebracht. Unterschiede bei der Systementwicklung der Endlagervarianten wurden identifiziert und analysiert. Mittels Parametervariationen und What-If-Rechnungen wurden wesentliche Prozesse, sensitive Parameter und einflussreiche Systemkomponenten identifiziert.

Zu den Arbeitspaketen 1, 7 und 8 wurden im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Berichtserstellung.
- AP4: Diskussion und Dokumentation der Integritätsnachweise des ewG und der Barrieren.
- AP5: Diskussion und Dokumentation der optimierten Endlagerauslegungen.
- AP6: Dokumentation, Durchführung von probabilistischen Modellrechnungen.
- AP8: Entwurf des gemeinsamen Abschlussberichtes.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 599.728,00 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

Das IfG ist gemeinsam mit BGR federführend für die AP2 und AP4 zuständig und führt ergänzende Untersuchungen zur Dichtheit von Salzgesteinen und zur Fluidperkolation durch.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen von AP4 erfolgten weitere geomechanische Berechnungen zur Integritätsanalyse. Grundlage bildeten die generischen Modelle des Typs „Flache Lagerung“ und „Salzkissen“. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Einlagerungsvarianten (u. a. Bohrloch-, Streckenlagerung) wurden vom IfG 2D und 3D Endlagermodelle betrachtet. Dabei wurden explizit die Grubenbaue des Endlagerbergwerks, (Förder-, Richt- und Einlagerungsstrecken) berücksichtigt und abgebildet. Berechnungsergebnisse der thermo-hydro-mechanisch gekoppelten Simulationen zu den Einlagerungsvarianten Streckenlagerung und horizontale Bohrlochlagerung in der flachen Lagerung und im Salzkissen wurden präsentiert. Innerhalb der ersten Jahrzehnte nach Einlagerung der wärmeentwickelnden Behälter induziert die thermische Expansion des Einlagerungshorizontes einen Hebungsprozess in dessen Folge eine Reduktion der horizontalen Einspannung am Salzspiegel und damit eine lokale Verletzung des Minimalspannungskriteriums zu beobachten ist. Die thermo-hydro-mechanisch gekoppelten Berechnungen zeigen dies explizit anhand der druckgetriebenen Perkolation, d. h. der Entstehung von Fließwegen in dem Bereich, in dem eine Verletzung des Minimalspannungskriteriums vorliegt. Es verbleibt in den Berechnungen ein über 300 m mächtiger Bereich der Salinarbarriere über dem Einlagerungshorizont in dem zu keinem Zeitpunkt eine Kriterienverletzung bzw. Fluidperkolation ausgewiesen wird. Die beiden betrachteten Einlagerungsvarianten unterscheiden sich hierbei durch den global vergleichbaren Wärmeeintrag nur geringfügig. Der induzierte Hebungsprozess erreicht in der Modellierung ca. 1000 Jahre nach Einlagerung an der Tagesoberfläche eine maximale Vertikalverschiebung von etwa 2,2 m und nimmt darauffolgend wieder langsam ab. Für die Modelle vom Typ „Salzkissen“ wurden aufgrund der geometrischen Anordnung der Einlagerungselemente 3D-Streifenmodelle aufgebaut und erste Ergebnisse von Testrechnungen präsentiert.

Zur Überprüfung der Hypothese (Ghanbarzadeh et al., 2015) zum Dichtheitsverlust von Steinsalz bei hohen Temperaturen und Drücken wurden Untersuchungen zur Dichtheit und Fluidperkolation von Salzgesteinen durchgeführt. Die Versuche bei Einspannungen um 900 bar, Temperaturen um 90 °C und Gasdrücken bis 920 bar belegen, dass Steinsalz auch unter diesen Bedingungen impermeabel ist und seine Dichtheit erst verliert, wenn die minimale Hauptspannung (Perkolationsschwelle) überwunden wird.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zur Integritätsanalyse für die verschiedenen Einlagerungs-Konstellationen für den Typ „Salzkissen“ werden fortgeführt. Als weiterer Schritt ist die Überprüfung und Kalibrierung der Berechnungsmodelle zur Integritätsanalyse an Versagensfällen geologischer Barrieren durch fluiddruck-getriebene Perkolation entlang diskreter Fließwege im Salzgestein vorgesehen. Dies ist Voraussetzung für eine Validierung der THM-gekoppelten Modellrechnungen zum Nachweis der Integrität der geologischen Barriere.

Durchführung ergänzender experimenteller Untersuchungen zur Überprüfung der These zum Dichtheitsverlust von Salzgesteinen durch deformations-getriebene Fluidperkolation.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Es ist vorgesehen zum Salt Club am 04.09.2017 einen Vortrag zur Fluidperkolation in Salzgesteinen zu halten.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Anhand eines Batchversuchs wurde unter Ar-Atmosphäre die Sorption von 1×10^{-8} M Pu(III) an CSH-Phasen in Abhängigkeit von deren Ca:Si-Verhältnis (C:S) im Bereich von 0,7 – 1,8 bei einem S/L-Verhältnis von 5 g/L in MilliQ Wasser untersucht. Pu(III) zeigte dabei unabhängig von C:S eine starke Sorption an den CSH-Phasen ($\log K_d = 4,4 - 5,8$).

Es wurden Auslaugungsexperimente an gemörsertem Zementsteinpulver (10 g/L, w/z = 0,5) und CSH-Phasen (10 g/L, C:S = 0,75) in verdünnter Gips-Lösung (VGL) über 7 Tage durchgeführt. Der pH-Wert der Auslaugung des Zements lag bei 12,6 und bei 10,2 für die CSH-Phasen. Die Bestandteile der eingedampften Überstandslösungen wurden mittels RFA quantifiziert. In beiden Fällen nehmen infolge der Auslaugung die Gehalte an Ca, Si und Al in der Lösung zu und die Sulfatkonzentration nimmt im Vergleich zu der in VGL ab. Die Oberfläche der Zement- und CSH-Proben wurden sowohl vor als auch nach der Auslaugung mittels XPS untersucht. Die Zementoberfläche wies nach der Auslaugung ein kleineres Ca:Si-Verhältnis auf. Im Falle der CSH-Phasen wurde keine signifikante Veränderung des Ca:Si-Verhältnisses beobachtet.

In fünf Experimenten wurde die Diffusion von HTO, $^{22}\text{Na}^+$, $^{99}\text{Tc(VII)}$ und $^{237}\text{Np(V)}$ in kompaktiertem Ca-Bentonit bei 22 bzw. 60 °C mit VGL als mobile Phase bei pH $\sim 7,2$ an Luft studiert. Die mittels HTO-Durchdiffusion bestimmten Porositätswerte lagen im Bereich von 0,40 bis 0,61. Die Aktivierungsenergie für die Diffusion von HTO betrug $\sim 23,5$ kJ/mol. Für die Diffusion von $^{237}\text{Np(V)}$ in Bentonit bei 22 °C wurden nach 62 Tagen Diffusionsprofile mit einer Np-Eindringtiefe von ca. 1,5 mm erhalten. Die vorläufige Auswertung der Np(V)-Diffusion ergab einen Diffusionskoeffizienten $D_e = (7,8 \pm 0,9) \times 10^{-12}$ m²/s, einen Kapazitätsfaktor $\alpha = 80 \pm 4$ und einen Verteilungskoeffizienten $\log K_d = 1,7 \pm 0,2$ (in L/kg). Letzterer stimmt gut mit bisherigen Batchexperimenten überein. Die erhaltenen Parameter für die Diffusion von $^{99}\text{Tc(VII)}$ in Bentonit (VGL, pH 7,3, 22 °C) sind $D_e = (2,2 \pm 0,1) \times 10^{-11}$ m²/s und $\alpha = 0,20 \pm 0,01$.

Die Experimente zur Diffusion von Np(V) in Zementstein mit VGL als mobile Phase mussten aufgrund von technischen Problemen, die durch die bei der Zementkorrosion auftretenden hohen pH-Werte verursacht wurden, abgebrochen werden. Um diese Probleme zu umgehen, wurde ein neues Setup für die Diffusionsexperimente entwickelt. Der erste Prototyp befindet sich in der Erprobung.

Die vom Projektpartner der Uni des Saarlandes entwickelte Methode der transienten ICP-MS Messung hochsalinärer Proben wurde erfolgreich am eigenen ICP-MS Gerät etabliert u. getestet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weitere Batchexperimente zur Sorption von Actiniden an Opalinuston (OPA), Zementsteinpulver und CSH-Phasen in Zementporenwasser
- EXAFS-Messungen an der Rossendorf Beamline (ESRF) zur Wechselwirkung von Pu(III) mit Zementsteinpulver
- Weiterentwicklung der neuen Diffusionszelle für Zementstein und Erprobung mit verschiedenen radioaktiven Tracern
- Charakterisierung der Oberflächen von Tonproben nach Kontakt mit Zement- bzw. Tonporenwasser mittels XPS
- Weitere Versuche zur Diffusion von Tc(VII) in Ca-Bentonit und Zementstein

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

- Die Langzeitstabilität von U(VI)-dotierten CSH-Phasen (Ca:Si-Verhältnisse: 1,0 – 2,0; 30 – 50 µg/g U(VI)) wurde in verschiedenen Salzlösungen (2,5 M NaCl; 2,5 M NaCl/0,5 M Na₂SO₄; 2,5 M NaCl/0,02 M NaHCO₃; 0,02 M NaHCO₃) u. a. unter Anwendung von TRLFS, IR-Spektroskopie und XRD untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass weder NaCl noch Na₂SO₄ direkt die strukturelle Stabilität der CSH-Phasen und deren Rückhaltevermögen für U(VI) beeinflussen. Dagegen führt die Anwesenheit von 0,02 M NaHCO₃ in der Laugungslösung zu einer Auflösung der CSH-Phasen und damit zu einer Freisetzung von U(VI). Die zusätzliche Anwesenheit von 2,5 M NaCl verstärkt die Freisetzung von U(VI) aus CSH-Phasen mit hohen C/S-Verhältnissen (C/S: 2,0). Dies kann auf einen Ionenstärkeeffekt und eine damit einhergehende erhöhte CaCO₃ Löslichkeit zurückgeführt werden. Zusätzlich wurden Laugungsexperimente mit zwei ausgewählten CSH-Phasen (C/S: 1,3 u. 2,1) in Gegenwart von 0,5 M MgCl₂ und 2,5 M NaCl durchgeführt. Es wurde keine Freisetzung von U(VI) aus den CSH-Phasen durch MgCl₂ beobachtet. Um die Wechselwirkung von MgCl₂ und NaHCO₃ in Kombination mit NaCl auf das U(VI)-CSH System unter hochsalinaren Bedingungen zu ermitteln wurde ein Screening mit Kombinationen aus Salzlösungen von NaCl, NaHCO₃ und MgCl₂ in endlagerrelevanten Konzentrationen sowie C/S-Verhältnissen von 0,3 bis 2,1 gestartet.
- Komplementär zu den bereits durchgeführten Experimenten zur U(VI)-Sorption an Ca-Bentonit in verdünnter Gipshuttlösung (pH-Bereich 8 – 13) unter Ausschluss von CO₂ und bei geringen Carbonat-Konzentrationen ($1,2 \times 10^{-4}$ – $5,4 \times 10^{-3}$ M), wurden im Berichtszeitraum zusätzliche Batch-Sorptionsversuche bei hohen Carbonat-Konzentrationen durchgeführt ($7,6 \times 10^{-4}$ – 0,1 M). Dabei konnte gezeigt werden, dass die U(VI)-Rückhaltung bis pH 11 sehr gering ist, dann bis pH 12 deutlich zunimmt und bei pH > 12 wieder sinkt. Mittels cryo-TRLFS wurde festgestellt, dass Uranyl-Carbonato-Komplexe die aquatische Speziation bis pH 11 dominieren. Bei pH > 11 wurden jedoch deutliche spektrale Veränderungen beobachtet. Neben der Aufklärung der aquatischen Speziation, wurden TRLFS und in situ ATR FT-IR Spektroskopie auch zur Charakterisierung der gebildeten U(VI)-Oberflächenkomplexe erfolgreich eingesetzt und geben Aufschluss über die zugrunde liegenden Rückhaltemechanismen (Adsorption/Oberflächenausfällung).

4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung der Stabilität von Cm(III)-dotierten CSH-Phasen bei hohen Ionenstärken.
- Um die gebildeten U(VI)-Bentonit-Oberflächenkomplexe eindeutig identifizieren zu können, werden XAS-Messungen an der ESRF in Grenoble durchgeführt.
- Das komplexe System aus U(VI), verdünnter Gipshuttlösung und Ca-Bentonit soll in gezielten Versuchsreihen schrittweise vereinfacht werden, um den Einfluss bestimmter Faktoren bzw. Komponenten auf die U(VI)-Rückhaltung quantifizieren zu können.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wolter, J.-M., Schmeide, K., Stumpf, T.: Interactions between U(VI) doped CSH phases and high saline brines. Posterbeitrag: ABC Salt V Actinide and Brine Chemistry in a Salt Repository Workshop (V), 26.-28.03.2017, Ruidoso, USA.

Bader, M., Müller, K., Foerstendorf, H., Drobot, B., Schmidt, M., Musat, N., Swanson, J.S., Reed, D.T., Stumpf, T., Cherkouk, A.: Multistage bioassociation of uranium onto an extremely halophilic archaeon revealed by a unique combination of spectroscopic and microscopic techniques. *J. Hazard. Mat.* 327, 225-232 (2017).

Moll, H., Cherkouk, A., Bok, F., Bernhard, G.: Plutonium interaction studies with the Mont Terri Opalinus Clay isolate *Sporomusa* sp. MT-2.99: changes in the plutonium speciation by solvent extractions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 13497-13508 (2017).

Lippmann-Pipke, J., Gerasch, R., Schikora, J., Kulenkampff, J.: Benchmarking PET for geoscientific applications: 3D quantitative diffusion coefficient determination in clay rock. *Computers & Geosciences* 101, 21-27 (2017).

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Im Rahmen des AP1 wurde in Screeningexperimenten die Löslichkeit von Th(IV) und U(VI) in NaCl-, CaCl₂- und MgCl₂-Lösungen in Anwesenheit organischer Zementadditive bzw. entsprechender Modellliganden (Melamin, Phtalat, Citrat, Adipat, Methylacrylat, 1,2-Ethandiol und Gluconat) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass für alle untersuchten Salzkonzentrationen und pH-Werte nur Gluconat (Glu) und Citrat (Cit) einen signifikanten Einfluss auf die Löslichkeit von Th(IV) und U(VI) haben. Dies deutet darauf hin, dass Verbindungen mit einer α -Hydroxy-Gruppe, die das verbindende strukturelle Merkmal von Glu und Cit ist, eine wichtige Rolle bei der Komplexierung von Actiniden unter hyperalkalinen Bedingungen spielen. Der Einfluss von Glu und Cit auf die Löslichkeit ist bei Th(VI) deutlicher ausgeprägter als bei U(VI), weshalb bei den weiterführenden Arbeiten der Focus zunächst auf Th(IV) als Vertreter tetravalenter Actiniden gelegt wird. In Anwesenheit von CaCl₂ ist der Effekt von Glu und Cit auf die Löslichkeit deutlich verringert, was auf die Bildung binärer Ca-Glu- und Ca-Cit-Komplexe sowie auf die geringe Löslichkeit von Ca₃Cit₂(s) zurückgeführt werden kann, wodurch die Ligandkonzentration in Lösung verringert wird. Darauf aufbauend wurde eine Vielzahl systematischer Löslichkeitsexperimente (~140) vorbereitet. Hierbei liegt der Focus wie bereits erwähnt zunächst auf Th(IV). Als Hintergrundelektrolyte werden NaCl (0.5 M, 2.5 M, 5 M), CaCl₂ (0.25 M, 1 M, 3.5 M) und MgCl₂ (0.25 M, 1 M, 3.5 M) verwendet. Die Experimente wurden zu hohen Ionenstärken ausgedehnt, um ein verlässlicheres Thermodynamik- und Aktivitäts-Modell aufstellen zu können. Im Rahmen der Löslichkeitsexperimente werden sowohl pH- als auch konzentrationsabhängige Untersuchungen (pH 7 – 14, Cit- bzw. Glu-konzentration von 10⁻⁵ bis 10⁻¹ M) durchgeführt. Als Festphase für die Löslichkeitsexperimente wird Th(OH)₄ verwendet. 500 mg wurden ausgefällt, gewaschen und mittels ICP-MS und XRD eingehend charakterisiert.

Im Rahmen von AP2 wurden Sorptionsstudien von trivalenten Lanthaniden und Actiniden an Illit (Na-IdP-2) bei einer konstanten Carbonat-Konzentration von 0.1 M im pH-Bereich von 7 bis 12.5 in 1 M und 3 M NaCl durchgeführt ([CO₃²⁻] im Gleichgewicht mit atmosphärischem CO₂ bei pH 9.5). Die Feststoffkonzentration an Illit betrug 1 g/L. Die Untersuchungen im Bereich von pH = 7-10.5 ergeben log K_D-Werte von 3-4. Diese stimmen mit den Daten aus Einzel-Experimenten bei korrespondierenden CO₂-Partialdrücken überein. Ein anschließender Anstieg der Sorption für pH-Werte > 10.5 ist durch die zunehmende Dominanz der Hydrolyse und der damit korrelierten stärkeren Oberflächenkomplexierung zu erklären. Um den Einfluss von organischen Zementadditiven bzw. entsprechender Modellliganden auf die Illit-Sorption zu untersuchen, wurde eine Eu Sorptionsstudie in Anwesenheit von Glu (0.01 M) bei gleichzeitiger Abwesenheit von CO₂ in NaCl- und CaCl₂-Lösungen (0.1 M, 1 M, 3 M NaCl und 0.06 M, 0.6 M, 2 M CaCl₂) und 1 g/L Illit durchgeführt. Die Experimente in NaCl Lösungen zeigen einen Rückhalt im Bereich von log K_D= 3-4 (gegenüber log K_D von > 6 im gluconatfreien System), wobei für pH > 10.5 ein leichter Anstieg beobachtet wird. Vergleichsexperimente in CaCl₂ Lösungen zeigen zwischen pH = 7-11 einen Rückhalt von log K_D=3.5-4, der bei höheren pH-Werten (pH > 11) um zwei Größenordnungen abfällt. Die Abnahme der Sorption im Alkalischen ist sehr wahrscheinlich auf die Bildung ternärer Eu(III)-Ca-Glu-Komplexe zurückzuführen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung von ausgedehnten Löslichkeitsversuchen für Th(IV) in Anwesenheit von Citrat und Gluconat (s. o.)
- Ausarbeitung von "Screening-Experimenten" für Np(V)-Systeme auf Basis der Ergebnisse der Löslichkeitsexperimente mit Th(IV)
- Sorptionsexperimente von Eu(III) an Illit bei 1. verschiedenen Gluconat-Konzentrationen, 2. konstanten Citrat-Konzentrationen
- Sorptionsexperimente von Gluconat, Citrat und Carbonat an Illit

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 458.021,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kickelbick

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zu Projektbeginn 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 Tonen durchgeführt. Hierzu werden Opalinuston sowie Ca-Bentonit (Calcigel), der als Puffermaterial 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-API (Verbund AP1 und AP4)

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

UdS-APII (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-APIII (Verbund AP2)

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

UdS-APIV (Verbund AP2 und AP4)

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

UdS-APV (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 Berichtszeitraum wurden die Untersuchungen zur Rückhaltung der Elemente des *waste cocktail* (U, Eu, Cs, I) an Opalinuston (OPA) und Calcigel weitergeführt. Dabei wurden gealterte und nicht gealterte Tone eingesetzt.

Als unterschiedliche Medien wurden verdünnte Gipshutlösung (Referenzporenwasser, RPW) und 0,1 M NaCl Lösung bei pH 8 eingesetzt sowie das künstlich hergestellte Zementporenwasser (ACW) und 0,1 / 1 / 5 M NaCl Lösungen, welche ebenfalls auf pH 13 eingestellt wurden. Da die pH-Einstellung im Bereich pH 8 sehr zeitaufwendig ist, konnten für viele Elemente und Tone bisher nur die Untersuchungen für pH 13 abgeschlossen werden.

Die verschiedenen Elemente verhalten sich dabei sehr unterschiedlich. Europium zeigt bei pH 13 an nicht gealtertem Calcigel die höchste Rückhaltung. Durch Erhöhen der Ionenstärke nimmt die Rückhaltung deutlich ab ($\log K_d = 4,9$ bei 0,1M NaCl; $\log K_d = 4,2$ bei 5M NaCl). Die Untersuchungen mit ACW heben sich von den übrigen Beobachtungen ab, der $\log K_d$ -Wert liegt mit 4,7 deutlich höher im Vergleich zu 5M NaCl. Die Rückhaltung von Uran an nicht gealtertem Calcigel ist deutlich niedriger und auch der Gang ist genau gegenläufig zum Europium. Die Rückhaltung wird mit zunehmender Ionenstärke erhöht ($\log K_d = 2,1$ bei 0,1M; $\log K_d = 2,5$ bei 5M). Auch hier liefern die Untersuchungen mit ACW überraschende Ergebnisse, da der $\log K_d$ Wert im Vergleich zur 5 molaren NaCl mit 3,5 sogar eine $\log K_d$ -Einheit höher liegt. Von den bisher untersuchten Elementen zeigt Cäsium an nicht gealtertem Calcigel vor allem bei hohen Ionenstärken den schlechtesten Rückhalt. Im basischen pH-Bereich nimmt zudem der Rückhalt ähnlich wie beim Europium stark mit der Ionenstärke ab ($\log K_d = 2,6$ bei 0,1M und $\log K_d = 1,4$ bei 5M NaCl). Vergleicht man die Ergebnisse von Europium an nicht gealtertem Calcigel mit denen an gealtertem Calcigel kann man feststellen, dass die Alteration des Calcigels in ACW zu einer leicht erhöhten Rückhaltung des Europiums führt.

Die Ergebnisse zur Rückhaltung von Uran und Cäsium an Opalinuston sind mit denen an Calcigel annähernd identisch. Bei Uran ist mit pH 13 sowie pH 8 eine Zunahme der Rückhaltung mit erhöhter Ionenstärke zu beobachten ($\log K_d = 1,9$ bei 0,1M NaCl und pH8); $\log K_d = 2,1$ für die Gipshutlösung bei pH8). Die Rückhaltung von Cäsium an OPA nimmt mit der Ionenstärke im Vergleich zu Calcigel nicht ganz so stark ab ($\log K_d = 1,9$ bei 5M). Vermutlich ist dieser Unterschied auf die unterschiedliche Zusammensetzung der Tone zurück zu führen, da manche Mineralien sehr spezifische Sorptionsstellen besitzen, welche nur für Cs geeignet sind und nicht von Na beeinflusst werden können. Im ACW stimmt der $\log K_d$ Wert mit 1,5 sehr gut mit den Untersuchungen an Calcigel überein. Die Ergebnisse bei pH8 und pH13 unterscheiden sich bei gleicher Ionenstärke kaum voneinander. Die Rückhaltung von Uran an gealtertem Opalinuston zeigt nur geringfügige Unterschiede im Vergleich zu nicht gealtertem Opalinuston.

Weiterhin wurde der Einfluss von dem Betonfließmittel MasterGlenium 51 auf die Rückhaltung der Elemente des *waste cocktail* an Calcigel untersucht, wobei die Elemente teilweise auch als Gemisch eingesetzt wurden. Für Iod und für Cäsium kann in keinem Medium ein relevanter Einfluss festgestellt werden. Die Rückhaltung von Europium und Uran wird bei der niedrigsten Ionenstärke durch Glenium auf Grund von Komplexbildung vermindert. In RPW ergibt sich für Uran durch Glenium zusätzlich ein rückhaltungsfördernder Einfluss. Werden die Elemente als Gemisch eingesetzt, ist in RPW ein ähnlicher Einfluss auch für Europium zu erkennen, wobei sich dessen Rückhaltung in RPW gegenüber den Versuchen, bei denen es als Einzelelement eingesetzt wurde, verringert.

Zudem konnte Glenium näher charakterisiert werden. Aus einem erhaltenen IR-Spektrum kann man schließen, dass das Fließmittel vermutlich mit einer Trimethylammoniumgruppe funktionalisiert ist. Ferner wurde untersucht, ob sich Glenium in den o. g. Medien abbaut. Dazu wurde es zwei Wochen lang in diesen Medien bei 25 °C bzw. 70 °C geschüttelt. Bei 25 °C ließ sich generell kein Abbau nachweisen, während sich bei 70 °C in MilliQ Wasser und Natronlauge eine Zersetzung andeutet. Die Abbau Produkte müssen jedoch noch näher charakterisiert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Berichtszeitraum werden die Untersuchungen zur Rückhaltung von Uran und Cäsium bei pH8 und an gealtertem Ton abgeschlossen. Zudem soll mit den Untersuchungen zum Rückhalt von Iod an Opalinuston und Calcigel angefangen werden.

Die Untersuchungen zur Rückhaltung verschiedener Elemente an Tonen mit Hilfe der HPLC-ICP-MS-Kopplung dauern noch an, wobei vor allem Untersuchungen bei pH13 sehr komplex sind.

5. Berichte, Veröffentlichungen

BRIX, K., HEIN, C., SANDER, J.M., KAUTENBURGER, R. (2017): Simultaneous quantification of iodine and high valent metals via ICP-MS under acidic conditions in complex matrices. *Talanta* 167, 532-536.

KAUTENBURGER, R., SANDER, J.M., HEIN, C. (2017): Europium (III) and Uranium (VI) complexation by natural organic matter (NOM): effect of source. *Electrophoresis* 38, 930-937.

HAHN, R., HEIN, C., SANDER, J.M., KAUTENBURGER, R. (2017): Complexation of europium and uranium with natural organic matter (NOM) in highly saline water matrices analysed by ultrafiltration and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Applied Geochemistry*, 78, 241-249.

HEIN, C., SANDER, J.M., KAUTENBURGER, R. (2017): New Approach of a transient ICP-MS measurement method for samples with high salinity. *Talanta*, 164, 477-482.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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

AP1.2: Oberflächen von C-S-H-Phasen; AP1.3: Sorption an C-S-H-Phasen; AP2.1: Hydroxide, Carbonate; AP2.2 Ternäre Komplexe mit Lösungskationen.

Als Grundlage zu Modellierungen der Adsorption von Uran auf C-S-H-Phasen wurde die solvatisierte (001)-Oberfläche verschiedener Varianten des 14 Å-Tobermorits mit C/S-Verhältnissen zwischen 0.67 und 1.2 untersucht (AP1.2). Verbrückende Tetraeder der Dreierketten an der basalen Oberfläche sind etwas geringer gebunden als im Festkörper, so dass sich Fehlstellen verbrückende Tetraeder dort leichter erzeugen lassen. Dies führt zu einem geringeren C/S-Verhältnis an Oberflächen im Vergleich mit dem Festkörper.

Rechnungen zur Adsorption von U(VI) (AP1.3) auf der basalen (001)-Oberfläche von 14 Å-Tobermorit für C/S = 0.67 und 1 ergaben, dass der Austausch von Ca^{2+} durch UO_2^{2+} weniger Energie benötigt als der Austausch zweier Protonen. Dieser Trend wurde bereits bei der Adsorption von UO_2^{2+} gefunden. Bevorzugte Plätze der Adsorption sind die monodentate Koordination an SiO-Gruppen verbrückender SiO_4 -Tetraeder sowie bidentate Koordination in einer Fehlstelle der Dreierketten (SiO-SiO). Bidentate Koordination an verbrückenden SiO_4 -Tetraedern (SiOO) ist weniger günstig. Bisher gefundene UO_2^{2+} -Adsorptionskomplexe sind bevorzugt vierfach koordiniert und tragen OH-Liganden. Ihre Geometrie ist ähnlich zu der der Adsorptionskomplexe. Rechnungen zu Schwingungsfrequenzen absorbiertes Uranyl(VI)-Spezies zeigen in Abhängigkeit vom Platz sowie von der Zahl der OH-Liganden eine Variation der Streckenschwingungen des Uranyls mit der Bindungslänge, ähnlich wie für Hydroxospezies in Lösung. Um etwa 100 cm^{-1} weichere Schwingungen im Vergleich mit dem Aquaion wurden für eine Spezies mit zwei OH-Liganden sowie für eine weitere auf dem Platz SiO-SiO in einer Dreierkettenfehlstelle ohne OH-Liganden erhalten. Diese Untersuchungen werden fortgeführt, um verschiedene sorbierte Spezies zu differenzieren.

Die systematische Charakterisierung dreikerniger U(VI)-Hydroxokomplexe wurde mit Rechnungen zu anionischen Spezies $[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_n]^{6-n}$, $n = 7-9$, fortgeführt (AP2.1). Für alle Spezies sind zentral oxo-verbrückte Strukturen am stabilsten. Es existieren nahezu entartete Isomere, insbesondere mit linearer Struktur. Im Gegensatz zu bisherigen experimentellen Hinweisen erwies sich die Spezies der Ladung -3 als stabil gegen Zerfall in monomere Komplexe. Im Vergleich zum trinuclearen Komplex der Ladung -2 nimmt die Stabilität jedoch ab, was andeutet, dass bei höherem pH mononukleare Hydroxokomplexe vorliegen. Der in der derzeit akzeptierten Speziation der U(VI)-Hydroxidkomplexe vorgeschlagene tetramere Komplex $(\text{UO}_2)_4(\text{OH})_7^+$ konnte bestätigt werden. Bisher nur für Th(IV) und Np(V) bekannte mononukleare ternäre Hydroxocarbonatkomplexe wurden für U(VI) modelliert (AP2.1). Die Komplexe $\text{UO}_2(\text{OH})_n(\text{CO}_3)_m^{2-n-2m}$ für $n, m = 1$ und 2 erwiesen sich als nahezu entartet mit entsprechenden Di- und Trihydroxokomplexen und sollten damit bei ausreichender Carbonatkonzentration existieren. Derzeit werden weitere Eigenschaften dieser Komplexe analysiert und mit entsprechenden Hydroxid- und Carbonatkomplexen verglichen. Untersuchungen zur Stabilisierung von anionischen Urankomplexen durch Lösungskationen (AP2.2) wurden mit derzeit laufenden Rechnungen zu U(VI)-Tricarbonat begonnen. Als erstes Beispiel wird der Effekt von Ca^{2+} und Na^+ in der zweiten Koordinationsschale untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1.2: Oberflächen von C-S-H-Phasen

AP1.3: Sorption an C-S-H-Phasen

AP2.1: Hydroxide und Carbonate

AP2.2: Ternäre Komplexe mit Lösungskationen

5. Berichte, Veröffentlichungen

D. R. Fröhlich, A. Kremleva, A. Rossberg, A. Skerencak-Frech, C. Koke, S. Krüger, N. Rösch, P. J. Panak: Combined EXAFS spectroscopic and quantum chemical study on the complex formation of Am(III) with formate, *Inorg. Chem* 56 (2017) 6820.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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 dem AP1 zugeordnete Lumineszenz-basierte Untersuchung des Sorptionsprozesses von Eu(III) an CSH(I) ($C/S = 1.3$) in Abhängigkeit vom pH -Wert ($11.0 \leq pH \leq 12.6$) und der Kontaktzeit wurde fortgesetzt. Analoge Arbeiten wurden für CSH-Phasen mit einem C/S -Verhältnis von 0.7, 0.9 sowie 1.4 durchgeführt. In allen CSH-Eu(III)-Wasser-Suspensionen konnten anhand der Lumineszenzkinetik-Daten drei verschiedene Eu(III)-Spezies identifiziert werden. Auf der Grundlage der aus den Lumineszenzabklingzeiten berechneten, am Eu(III) koordinierten Wassermolekülen und dem literaturbekannten Austausch von Ca(II) gegen Eu(III), konnten Rückschlüsse auf die Lage des Eu(III) in der CSH-Struktur gezogen werden. Die Eu(III)-Spezies, welche keine koordinierten Wassermoleküle aufweist, wird in den Ca(II)-Schichten der CSH-Phase eingelagert sein. Die Zweite Eu(III)-Spezies ist je nach C/S -Verhältnis und Kontaktzeit von zwei bis sechs Wassermolekülen umgeben und könnte sich demzufolge in der Ca(II)-Wasser-Schicht oder an endständigen Silanol-Gruppen befinden. Die dritte Eu(III)-Spezies konnte, durch Referenz-Experimente von Eu(III) in Wasser bei pH 12.0, Eu(III)-OH_x zugeordnet werden. Die Erhöhung des pH -Wertes von 12.0 auf 12.6 hatte weder einen Einfluss auf die Eu(III)-Spezies noch auf die Sorptionskinetik. Gleiche Beobachtungen ergaben sich für C/S -Verhältnisse geringer bzw. höher als 1.0 ($pH \geq 12.0$). Allerdings weist die ermittelte längere Lumineszenzabklingzeit der in der Ca(II)-Schicht eingelagerten Eu(III)-Spezies bei C/S -Verhältnissen kleiner als 1.0 und einem pH -Wert ab 12.0 auf eine stärkere Einlagerung hin. Unter diesen Bedingungen ($C/S < 1$ und $pH \geq 12.0$) scheint somit die Mobilität von Ln(III) und daher evtl. auch die der analogen Actinoid-Ionen in Zement verringert zu sein.

Die dem AP2 zugeordneten, kontaktzeit- und ionenstärkeabhängigen (Milli-Q-Wasser, NaCl und verd. Gipshutslsg.), Lumineszenz-kinetischen Messungen von Suspensionen aus Montmorillonit (als Hauptbestandteil von Bentonit) und Eu(III)-Lösungen unter hyperalkalinen Bedingungen ($pH = 12$) wurden ebenso fortgesetzt. Unabhängig von den variierten Parametern konnten bei allen Untersuchungen die gleichen zwei Eu(III)-Spezies identifiziert werden, deren Lumineszenzabklingzeiten für die Abwesenheit von Wasser in der ersten Koordinationssphäre sprechen. Dies spricht für eine nahezu unmittelbare Sorption von Eu(III) an das Montmorillonit an zwei unterschiedlichen Sorptionsplätzen. Die Abwesenheit von Wassermolekülen weist auf eine Oberflächenkomplexierung an Stelle eines Ionenaustausches in den Tonzwischenschichten hin. Diese Beobachtung deckt sich mit literaturbekannten Untersuchungen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Um mögliche Veränderungen der CSH-Struktur während den Sorptionsexperimenten zu analysieren, werden die getrockneten CSH-Phasen erneut mit XRD, ICP-OES als auch Raman-Mikroskopie untersucht. Zusätzlich sollen diese Proben Lumineszenz-spektroskopisch bei 4 K analysiert werden. Der Einfluss der Ionenstärke (NaCl, Gipshutlösung) auf den Eu(III)-Sorptionprozess an CSH-Phasen wird ein weiterer zu analysierender Parameter sein. Gleichzeitig soll die Sorption von Eu(III) an AFm-CO₃, AFm-SO₄ und Ettringit in Abhängigkeit vom pH -Wert sowie der Reaktionszeit Lumineszenz-basiert untersucht werden.

Analog der bereits durchgeführten Messungen an Montmorillonit sollen weiterführende Untersuchungen für den pH Bereich zwischen 10 und 13 stattfinden. Weiterhin soll eine tiefergehende Betrachtung der beiden beobachteten Spezies durch die Variation der Eu(III)-Konzentration mit Lumineszenz-kinetischen Messungen bei 4 K stattfinden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein Manuskript im Review-Prozess, ein weiteres in Vorbereitung.

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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
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 Actiniden-speziation, 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 endlagerrelevanten 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 Auswerteroutinen 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:

Die experimentellen Arbeiten zur spektroskopischen und thermodynamischen Charakterisierung der Komplexierung von Nd/Eu/Am mit Zementadditiv Malat wurden abgeschlossen. Für konsistentere Ergebnisse wurden die UV-Vis-Messungen mittels eines Globale Fits (gleichzeitige Auswertung mehrerer Serien, pH und konzentrationsabhängig) ausgewertet. Ein Draft für eine Publikation wurde erstellt.

Es wurden isotherme titrationskalorimetrische Messungen zur Komplexierung von Eu^{3+} mit Glenium in Abhängigkeit der Ionenstärke (NaCl, 0,05 bis 2,5 m) bei $\text{pH} \sim 5,8$ durchgeführt. Eine vorläufige Auswertung der Daten ergibt, dass zwei unterschiedliche Bindungsplätze für Eu^{3+} mit relativ ähnlichen Stabilitätskonstanten im Bereich von $\log \beta$ 4,8 bis 5,5 vorliegen. Beide Bindungsplätze unterscheiden sich jedoch deutlich in ihrer Konzentration und ihrer Reaktionsenthalpie bzgl. der Reaktion mit Eu (Bsp. für $I = 0,05$ m NaCl: Bindungsplatz 1: $n_1 = 0,2$ mol/l, $\Delta_r H_1 \sim 73$ kJ/mol, $\log \beta_1 = 5,1$ Bindungsplatz 2: $n_2 = 0,04$ mol/l, $\Delta_r H_2 \sim 0,02$ kJ/mol, $\log \beta_2 = 5,5$).

Für Bindungsplatz 1 (Hauptkomponente) ist eine Abnahme der Stabilitätskonstante und Reaktionsenthalpie mit steigender Ionenstärke zu verzeichnen. Eine SIT-Modellierung ist Gegenstand weiterer Arbeiten. Für Bindungsplatz 2 (Minorkomponente) ist keine eindeutige Ionenstärkeabhängigkeit zu verzeichnen.

TRLFS-Untersuchungen zur Tb-Hydrolyse (in Zusammenarbeit mit Uni Potsdam) offenbarten ein analoges Verhalten der Hydrolysespezies im Vergleich zu Europium. Für beide Metalle konnten keine fluoreszierenden Hydrolysespezies detektiert werden. Die Vermutung der Photoreduktion als Ursache dafür wird dadurch unwahrscheinlicher. Zur besseren Interpretation der Daten werden Ergebnisse aus quantenmechanischen Berechnungen benötigt.

CSH-Phasen mit unterschiedlichen C/S-Verhältnissen von 0,4 bis 1,2 wurden unter Stickstoffatmosphäre in einer Glovebox in carbonatfreiem Wasser oder in Artificial Pore Water (ACW) präpariert. Testproben wurden mithilfe von TGA-DSC-Messungen auf Carbonatgehalt geprüft und erwiesen sich als carbonatfrei. Die Eu(III)-Sorption an CSH-Phasen wurde durch zwei unterschiedliche Herangehensweisen untersucht: a) Zugabe von Eu-152 zu frisch angesetzten CSH-Phasen und b) Zugabe von Eu-152 zu getrockneten und resuspendierten CSH-Phasen. Beide Herangehensweisen führen zu nahezu identische hohen Eu-Sorptionsraten von > 95 % (Schüttelzeit betrug 4 Wochen). Erste Auslaugungsversuche mit Eu-152 dotierten CSH-Phasen mit Malat ließen keine Desorption des Eu-152 aus den CSH-Phasen erkennen.

TU-AP-4.1:

Der Matlab Algorithmus zur Auswertung von isothermen kalorimetrischen Messungen wurde speziell für das Eu-Glenium-System weiterentwickelt. Der Vorteil der Weiterentwicklung ist, dass die Konzentration der Bindungsplätze des Gleniums aus der Wärmekurve direkt bestimmt (gefittet) werden. Es wurde angenommen, dass die Eu^{3+} -Komplexierung am Bindungsplatz 2 (Minorkomponente) möglicherweise eine nur sehr geringe endotherme Wärmetönung im Vergleich zu Bindungsplatz 1 (Hauptkomponente, $\Delta_r H_1 \sim 73$ kJ/mol) aufweist. Die Wärmekurven konnten mit diesem Modell für alle Ionenstärken konsistent angepasst werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Arbeiten zur Herstellung/Charakterisierung definierter CSH-Phasen + additivhaltiger CHS-Phasen (radiomarkiertes Additiv bzw. Modelligand), Batchversuche mit den CHS-Phasen zur Auslaugung des Additiv bzw. des Ln-Additiv-Komplexes.
- Vorbereitung und Durchführung von EXAFS-Untersuchungen an additivhaltigen und Am(III)-additivhaltigen CSH-Phasen (geplant für Dezember 2017).
- Abschluss der Arbeiten zur titrationskalorimetrischen Untersuchung der Komplexierung von Eu mit Glenium (Zementadditiv). Für die Charakterisierung der mittels Titrationskalorimetrie detektieren unterschiedlichen Bindungsplätze sind spektroskopische Untersuchungen geplant.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

Hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit der Komplexbildung von Cm(III) mit Methacrylat wurden eingehende Untersuchungen durchgeführt. Bei Temperaturen $> 70\text{ °C}$ tritt eine irreversible Änderung der Emissionsspektren auf, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine thermisch und/oder photolytisch initiierte Polymerisierung zurückzuführen ist. Im Bereich $20 - 60\text{ °C}$ zeigt der erste Komplexbildungsschritt nur eine geringfügige Temperaturabhängigkeit und $\log K^0_1(T)$ steigt geringfügig von 3.2 auf 3.4. Für die Bildung des $[\text{CmMeth}_2]^+$ Komplexes ist die Temperaturabhängigkeit ähnlich schwach ausgeprägt und $\log K^0_2(T)$ steigt von 1.9 auf 2.2. Leichte Unterschiede zu Ergebnissen für andere kleine Carboxylatliganden (Acetat, Propionat etc.) hängen möglicherweise mit dem konjugierten π -System des Methacrylats zusammen.

Eine Untersuchung des Komplexbildungsverhaltens von Glenium 51 mit Eu(III) bei neutralem pH-Wert lieferte ähnliche Ergebnisse für die entsprechenden temperaturabhängigen Stabilitätskonstanten wie zuvor unter sauren Bedingungen. Die Ladungskapazität des Polycarboxylates war unter den neu gewählten Bedingungen jedoch deutlich erhöht und bei 90 °C quantitativ.

Erste TRLFS Untersuchungen zur Wechselwirkung von Eu(III) mit den von der AG Plank (TUM) bereitgestellten Polycarboxylat-Superplasticizern unterschiedlicher Struktur liefern ähnliche Emissionsspektren wie im Fall des Glenium 51. Abermals scheint sich in allen Fällen nur eine einzige Komplexspezies zu bilden. Wie zu erwarten hängt der komplexierende Einfluss stark mit der anionischen Ladungsdichte der verschiedenen Polycarboxylate zusammen. Die Bestimmung der Stabilitätskonstanten mit Hilfe des Ladungsneutralisationsmodells bedarf jedoch noch genauerer Auswertung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- TRLFS Untersuchungen zur Komplexbildung von Eu(III) und Cm(III) mit weiteren Modellliganden und Superplasticizern (Kooperation mit AK Plank (TUM)).
- TRLFS Untersuchungen ausgewählter Ligandsysteme bei hohen pH-Werten.
- EXAFS-spektroskopische Untersuchungen zur Komplexbildung von dreiwertigen Lanthaniden mit verschiedenen Polycarboxylat-Superplasticizern (BESSY, Oktober 2017).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Skerencak-Frech, A., Trumm, M., Fröhlich, D.R., Panak, P.J.: Coordination and thermodynamics of trivalent actinides with malonate at increased temperatures: A spectroscopic and quantum chemical study, submitted

Fröhlich, D.R., Maiwald, M.M., Taube, F., Plank, J., Panak, P.J.: A thermodynamical and structural study on the complexation of trivalent lanthanides with a polycarboxylate based concrete superplasticizer, Dalton Trans., 2017, 46, 4093-4100

Fröhlich, D.R., Kremleva, A., Rossberg, A., Skerencak-Frech, A., Koke, C., Krüger, S., Rösch, N., Panak, P.J.: Combined EXAFS spectroscopic and quantum chemical study on the complex formation of Am(III) with formate, Inorg. Chem., 2017, 56, 6820-6829

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2015 bis 31.07.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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

- AP5: Erstellung eines Berechnungsalgorithmus zur Berechnung und Optimierung der geometrischen Konfiguration von Salzschnittblöcken mit den Zielen: a) Vermeidung durchgängiger Fugen, Minimierung der Anzahl verschiedenartiger Salzschnittblockgeometrien, Optimierung der für einen Prüfkörper erforderlichen Gesamtzahl von Salzschnittblöcken. Beschaffung und Funktionstest Schneidwerkzeuge für Vorkonfektionierung von Steinsalzgroßbohrkernen und Steinsalzblöcken zur Herstellung von Salzschnittblöcken mittels Fräsmaschine.
- AP6: Versuche zur Herstellung von Prüfkörperummantelungen; Verklebung/Vulkanisierung vor Ort. Testversuche mit Stahldummy. Testversuche zur Wechselwirkung zwischen Manteldruck und Außenfugenkompressibilität.
- AP8: Aufbau numerischer Berechnungsmodelle entsprechend Prüfkörpergeometrie (→ Blockstruktur gemäß geplanter Anordnung der Salzschnittblöcke mit Interface-Elementen, grundlegende Berechnungen zur Funktionalität der Berechnungsmodelle und Verifikation der Berechnungsergebnisse. Rechnerische Analyse idealisierter Teilmodelle zur Untersuchung des Verbundtragverhaltens von Salzschnittblöcken mit und ohne Fugenfüllung. Vorbereitung direkter Scherversuche zur Charakterisierung der mechanischen Verbundeigenschaften von Salzschnittblöcken mit und ohne Fugenfüllung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Herstellung Salzschnittblöcke.
- Aufbau und Montage der Arbeitsbühne zum Prüfkörperaufbau.
- Vor Ort Vulkanisierung der Ummantelung mit nachfolgenden Testversuchen an Stahldummy.
- Aufbau Dichtelement aus Salzschnittblöcken, Vulkanisierung Ummantelung, Triaxialversuch.
- Numerische Untersuchungen zur Modellierung und Reanalyse der Technikumsversuche.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Düsterloh, U. (2017): Konzeption, Untersuchung und Modellierung eines Abdichtungselementes aus Salzschnittblöcken zum Nachweis der Barrierenintegrität, Fachgespräch Verschlussysteme - Konzepte/Baustoffe/Demonstration/Anwendung, Freiberg, 03.-04. Mai 2017.

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		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2015 bis 31.07.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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 Verschlusselementen 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 Arbeiten sind abgeschlossen.

AP2: Die Betonierabschnittsgrenzen im MgO-Spritzbeton können primäre hydraulische Schwächezonen sein. Weiterhin ist die Zugfestigkeit dort mit $(2,8 \pm 2)$ MPa geringer als in der Spitzbetonmatrix $(9,0 \pm 1,5)$ MPa. Die Ergebnisse der Hg-Porosimetrie werden durch die Trocknungs- bzw. Lagerungsbedingungen vorbestimmt. Bei Lagerungsversuchen des MgO-Spritzbetons bei 30 °C und steigenden relativen Luftfeuchten bis max. 75 % wurde an der Oberfläche als Reaktionsprodukt Chlorartinit identifiziert, das sich aus dem im Beton enthaltenen Überschuss-MgO und dem CO₂ aus der Luft gebildet hat.

AP3: In den Bohrlochversuchen im Dammkörper ohne Schwächezonen haben sich Lösungspereabilitäten von $3 \cdot 10^{-20}$ m² eingestellt. In den Bohrungen mit hydraulischen Fehlstellen verringern sich die Lösungspereabilitäten von anfangs 10^{-15} m² mit der Zeit auf $\leq 10^{-17}$ m². Die Selbstabdichtung des MgO-Spritzbetons infolge Lösungszutritts konnte somit auch in situ nachgewiesen werden. Ähnliche Effekte konnten auch durch den Abfall der integralen Lösungspereabilität des Bauwerkes GV2 mit Kontaktfuge und ALZ gezeigt werden. Am Bauwerk GV2 konnte durch TDR-Messensoren eine bevorzugte Lösungsausbreitung an einer Stelle (von der Luftseite: rechts unten) detektiert werden. Ein Lösungsdurchtritt zur Luftseite ist aber noch nicht erfolgt.

Von der BAM wurden mit Unterstützung der BGE erste Ultraschall-Testmessungen mit einer Tiefenwirkung bis ca. 1 m durchgeführt. Die Ergebnisse sind hoffnungsvoll und werden noch ausgewertet.

AP4: Die Planungen eines zukünftigen partiellen Rückbaus mit Nachuntersuchungen liegen vor.

AP5: Entwurf des Zwischenberichtes zu AP1, AP2, AP3 liegt vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Abschluss der Hg-Porosimetrie.

AP3: Haltephase mit Langzeitmessungen in den Bohrungen B38, B39, B40 und B41 und einer Nachbelastung der Druckkammer GV2. Fortsetzung der Ultraschallmessungen, Vorschläge für ein zukünftiges QS-System.

AP4: Vor dem zukünftigen Rückbau soll ab 1.8.2017 eine Haltephase eingefügt werden, in der die Untersuchungen zu AP3 und AP5 fortgesetzt und erweitert werden.

AP5: Redaktionelle Arbeiten am Zwischenbericht und den Teilberichten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fachgespräch Verschlussysteme: Konzepte, Baustoffe, Simulation, Demonstration und Anwendung, Freiberg 03.05. - 04.05.2017. Tagungsband in Vorbereitung.

Zuwendungsempfänger: Dr. Andreas Hampel, Grünberger Str. 56, 55129 Mainz	Förderkennzeichen: 02 E 11446A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 330.429,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hampel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, IfG Leipzig, Leibniz Universität Hannover, TU Braunschweig und TU Clausthal (FKZ 02E11446A bis E) hat das Gesamtziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in untertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA.

Die Arbeiten ergeben sich aus dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Modellierung des thermomechanischen Verformungsverhaltens von Steinsalz, hier fokussiert auf die flache Lagerung, der beim Vergleich aktueller Stoffmodelle und Berechnungsverfahren in drei Verbundprojekten zwischen 2004 und 2016 identifiziert wurde. Es wird eine verbesserte physikalische Beschreibung der in AP1 bis AP4 genannten Phänomene erarbeitet. Begleitend werden spezifische experimentelle Untersuchungen und exemplarische numerische Simulationen mit endlagerrelevanten Detailmodellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden miteinander, mit experimentellen Befunden und In-situ-Beobachtungen verglichen. Auswirkungen der verbesserten Modellierung werden anhand eines komplexen gebirgsmechanischen 3D-Modells in AP5 demonstriert.

Das Verbundprojekt weist einen engen thematischen Bezug zum BMWi-Vorhaben „Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Verformungsverhalten bei kleinen Deviatorspannungen
- AP2: Einfluss von Temperatur und Spannungszustand auf die Schädigungsrückbildung
- AP3: Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastungen
- AP4: Einfluss von Grenzflächen im Steinsalz auf die Verformung (Wechselagerung)
- AP5: Virtueller Demonstrator
- AP6: Administrative Arbeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger koordiniert das Vorhaben und betreut die Kooperation mit den Sandia National Laboratories. Er beteiligt sich im Teilprojekt A mit dem von ihm entwickelten Stoffmodell CDM und verwendet für die Modellberechnungen der Untertagestrukturen das Finite-Differenzen-Programm FLAC3D (Itasca).

Im Berichtszeitraum verglich er im AP1 zunächst verschiedene Verfahren zur Auswertung von Kriechversuchen bei kleinen Deviatorspannungen und untersuchte deren Einfluss auf die Bestimmung stationärer Kriechraten. Außerdem simulierte er den Aufstieg eines generischen Salzstocks mit seinem Stoffmodell. Bei diesem Beispiel hat die Modellierung des Kriechens bei kleinen Spannungen einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Die Simulationen ermöglichen daher eine erste Plausibilitätskontrolle der Modellierung.

In AP2 beteiligte er sich an Vorausberechnungen diverser, von den Partnern gemeinsam geplanter Verheilungsversuche. Diese Berechnungen dienen zur Optimierung der Versuchsbedingungen sowie zum Testen bestehender Modellierungsansätze.

Für AP3 verbesserte er seine Implementation des CDM-Stoffmodells in FLAC3D hinsichtlich der Beschreibung hoher Schädigungen und Dilatanz im Druck- und Zugbereich und unternahm eine Reihe von Testberechnungen.

Außerdem führte er in AP5 Berechnungen des von den Partnern gemeinsam entwickelten ersten Modellentwurfs eines Virtuellen Demonstrators durch.

Im Berichtszeitraum beteiligte er sich an den folgenden Projektworkshops: Nr. 5 am 02.-03.02. in Leipzig, Nr. 6 am 27.-28.03. in Hannover und Nr. 7 am 23.-24.05. in Clausthal.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird zusammen mit den Partnern die weiteren Arbeiten durchführen. Im Fokus stehen dabei die Simulationen des Virtuellen Demonstrators in AP5, weitere Vorausberechnungen der geplanten Verheilungsversuche in AP2 und Studien zur Wirkung von Zugspannungen in AP3. Er wird seine Ergebnisse auf den weiteren Projektworkshops präsentieren und gemeinsam mit den Partnern die weiteren Arbeiten besprechen. Workshop 8 ist für den 21.08.2017 beim IfG Leipzig geplant. Außerdem wird er am 05.-07.09.2017 gemeinsam mit den Partnern Ergebnisse des Verbundes auf dem 8th U.S./German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation in Middelburg, NL, präsentieren. Ferner wird er eine gemeinsame Veröffentlichung des Verbundes für die Saltmech-IX-Tagung erstellen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 11446B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 545.980,00 EUR	Projektleiter: Dr. Salzer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, IfG Leipzig, Universität Hannover, TU Braunschweig und TU Clausthal (FKZ 02E11446A bis E) hat das Gesamtziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in untertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA.

Die Arbeiten ergeben sich aus dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Modellierung des thermomechanischen Verformungsverhaltens von Steinsalz, hier fokussiert auf die flache Lagerung, der beim Vergleich aktueller Stoffmodelle und Berechnungsverfahren in drei Verbundprojekten zwischen 2004 und 2016 identifiziert wurde. Es wird eine verbesserte physikalische Beschreibung der in AP1 bis AP4 genannten Phänomene erarbeitet. Begleitend werden spezifische experimentelle Untersuchungen und exemplarische numerische Simulationen mit endlagerrelevanten Detailmodellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden miteinander, mit experimentellen Befunden und In-situ-Beobachtungen verglichen. Auswirkungen der verbesserten Modellierung werden anhand eines komplexen gebirgsmechanischen 3D-Modells in AP5 demonstriert.

Das Verbundprojekt weist einen engen thematischen Bezug zum BMWi-Vorhaben „Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Verformungsverhalten bei kleinen Deviatorspannungen
- AP2: Einfluss von Temperatur und Spannungszustand auf die Schädigungsrückbildung
- AP3: Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastungen
- AP4: Einfluss von Grenzflächen im Steinsalz auf die Verformung (Wechselagerung)
- AP5: Virtueller Demonstrator
- AP6: Administrative Arbeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum führten die Partner am 2./3. Februar in Leipzig, am 27./28. März in Hannover und am 23./24. Mai in Clausthal, den 5., 6. sowie 7. Projekt-Workshop durch.

Das vorliegende Teilvorhaben B beteiligt sich mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell nach Minkley und dem Erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz nach Günther/Salzer an den geplanten Arbeiten. Dabei wird das Programm FLAC3D (Fa. Itasca) verwendet.

Außerdem realisiert das IfG die Planung und Durchführung der Laborversuche zur Ableitung der Kriechparameter bei kleinen Deviatorspannungen (AP1), wozu u. a. die Entwicklung und der Bau von drei neuartigen Versuchsständen für Kriechversuche mit einer verbesserten Messgenauigkeit sowie einer erschütterungsarmen, speziellen Klimakammer erfolgt.

Das IfG hat im Berichtszeitraum den 5., 6. und 7. Projekt-Workshop gemeinsam mit den Partnern vorbereitet und durchgeführt. Auf den Workshops wurden die Ergebnisse der bisherigen Planungen und Arbeiten sowie der Zusammenarbeit mit Sandia National Laboratories sowie der BGR (zum AP1) vorgestellt und diskutiert.

Die BGR stellte auf dem 6. WS in Hannover ihre bei kleinen Deviatorspannungen ermittelten Versuchsergebnisse sowie weitere geplante Versuche vor. Gleichzeitig erfolgte eine Abstimmung von begleitenden Untersuchungen der Mikrostruktur an bei kleinen Deviatorspannungen verformten Prüfkörpern durch Sandia National Laboratories und BGR, wozu jeweils 7 Hälften von unter definierten Bedingungen verformten Prüfkörper an beide Organisationen durch das IfG übergeben wurden.

Im Mai 2017 wurden die abschließenden Ergebnisse des orientierenden Laborprogramms für Kriechversuche mit bereits vorhandenen Kriechversuchsständen vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert. Der Bau der Einzelkomponenten von 3 neuartigen Kriechversuchsständen mit einer erhöhten Messgenauigkeit wurde weitgehend abgeschlossen. Die für die Versuchsdurchführung erforderliche erschütterungsarme Klimakammer wurde im Rohbau fertiggestellt.

Die Nachrechnung von Salzstockhebungsraten (0,01 bis 0,05 mm/a) soll Aussagen über das Kriechverhalten bei kleinen Deviatorspannungen an Hand eines natürlichen Analogons liefern. Eine vergleichende Betrachtung der Berechnungsergebnisse aller Partner erfolgte durch das IfG und wurde auf dem 6. WS präsentiert und diskutiert.

Die abgestimmten Prognoserechnungen für die geplanten Verheilungsversuche der TUC wurden mit beiden Stoffmodellen durchgeführt und auf dem 6. und 7. WS präsentiert.

Das IfG hat weiterhin die abgestimmten Simulationsrechnungen zu Extensionsbelastungen sowie zum Aufbau eines virtuellen Demonstrators realisiert und mit den Partnern diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im 2. Halbjahr 2017 werden die drei neuartigen Kriechversuchsstände und die erforderliche Klimakammer fertiggestellt und wenn möglich ein erster Testlauf gestartet.

Weiterhin werden die Arbeiten zum Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastung, zur Verheilung sowie mit dem virtuellen Demonstrator fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 11446C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 250.023,00 EUR	Projektleiter: Staudtmeister	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, IfG Leipzig, Universität Hannover, TU Braunschweig und TU Clausthal (FKZ 02E11446A bis E) hat das Gesamtziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in untertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA.

Die Arbeiten ergeben sich aus dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Modellierung des thermomechanischen Verformungsverhaltens von Steinsalz, hier fokussiert auf die flache Lagerung, der beim Vergleich aktueller Stoffmodelle und Berechnungsverfahren in drei Verbundprojekten zwischen 2004 und 2016 identifiziert wurde. Es wird eine verbesserte physikalische Beschreibung der in AP1 bis AP4 genannten Phänomene erarbeitet. Begleitend werden spezifische experimentelle Untersuchungen und exemplarische numerische Simulationen mit endlagerrelevanten Detailmodellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden miteinander, mit experimentellen Befunden und In-situ-Beobachtungen verglichen. Auswirkungen der verbesserten Modellierung werden anhand eines komplexen gebirgsmechanischen 3D-Modells in AP5 demonstriert.

Das Verbundprojekt weist einen engen thematischen Bezug zum BMWi-Vorhaben „Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweis-konzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Verformungsverhalten bei kleinen Deviatorspannungen
- AP2: Einfluss von Temperatur und Spannungszustand auf die Schädigungsrückbildung
- AP3: Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastungen
- AP4: Einfluss von Grenzflächen im Steinsalz auf die Verformung (Wechselagerung)
- AP5: Virtueller Demonstrator
- AP6: Administrative Arbeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger hat im Berichtszeitraum weitere Simulationsberechnungen zum Salzstockaufstieg sowie Biegenbalken und Spaltzugversuch mit dem weiterentwickelten und validierten Stoffmodell durchgeführt und Berechnungsergebnisse sowie die Ergebnisse aus den Vorberechnungen zu den Verheilungsversuchen vorgestellt und mit den Projektpartnern verglichen und diskutiert. Bei der Parametervalidierung des weiterentwickelten Stoffmodells wurden vom Zuwendungsempfänger Versuche aus vorherigen Vorhaben herangezogen und mitberücksichtigt. Ergebnisse hierzu wurden teilweise vorgestellt. In dem Berichtszeitraum hat der Zuwendungsempfänger einen Workshop organisiert und an weiteren zwei teilgenommen. Der Zuwendungsempfänger hat den bei dem Workshop Nr. 6 teilnehmenden externen Gästen das AP3 näher vorgestellt. Des Weiteren wurden erste Modellberechnungen am virtuellen Demonstrator durchgeführt. Hierfür hat der Zuwendungsempfänger das von den Projektpartnern zur Verfügung gestellte sowie ein selbst generiertes Berechnungsmodell verwendet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird an weiteren Workshops teilnehmen. Erste Ergebnisse aus den Simulationsberechnungen zum virtuellen Demonstrator werden vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert. Weitere Berechnungen zum virtuellen Demonstrator sollen nach Absprache mit den Projektpartnern folgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Yıldırım, S., D. Zapf & K. Staudtmeister 2016: The Lubby-CF constitutive model for the thermo-mechanical behavior of rock salt. Proceeding of the 4th Itasca Symposium on Applied Numerical Modeling. Itasca, March 7-9, 2016, Lima, Peru
Zapf, D., Yıldırım, S., K. Staudtmeister & B. Leuger 2016: Rock Mechanical Dimensioning of Gas Storage Caverns in the Salt Dome Edge Region, Proceeding of the 4th Itasca Symposium on Applied Numerical Modeling. Itasca. March 7-9, 2016. Lima, Peru

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 14, 38106 Braunschweig		Förderkennzeichen: 02 E 11446D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 233.387,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Stahlmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, IfG Leipzig, Leibniz Universität Hannover, TU Braunschweig und TU Clausthal (FKZ 02E11446A bis E) hat das Gesamtziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in untertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA.

Die Arbeiten ergeben sich aus dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Modellierung des thermomechanischen Verformungsverhaltens von Steinsalz, hier fokussiert auf die flache Lagerung, der beim Vergleich aktueller Stoffmodelle und Berechnungsverfahren in drei Verbundprojekten zwischen 2004 und 2016 identifiziert wurde. Es wird eine verbesserte physikalische Beschreibung der in AP1 bis AP4 genannten Phänomene erarbeitet. Begleitend werden spezifische experimentelle Untersuchungen und exemplarische numerische Simulationen mit endlagerrelevanten Detailmodellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden miteinander, mit experimentellen Befunden und In-situ-Beobachtungen verglichen. Auswirkungen der verbesserten Modellierung werden anhand eines komplexen gebirgsmechanischen 3D-Modells in AP5 demonstriert.

Das Verbundprojekt weist einen engen thematischen Bezug zum BMWi-Vorhaben „Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Verformungsverhalten bei kleinen Deviatorspannungen
- AP2: Einfluss von Temperatur und Spannungszustand auf die Schädigungsrückbildung
- AP3: Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastungen
- AP4: Einfluss von Grenzflächen im Steinsalz auf die Verformung (Wechselagerung)
- AP5: Virtueller Demonstrator
- AP6: Administrative Arbeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger beteiligt sich an dem Verbundprojekt im Teilprojekt D mit dem Stoffmodell für Steinsalz TUBSSalt und verwendet für die Modellberechnungen der Untertagestrukturen das Finite-Differenzen-Programm FLAC3D der Fa. Itasca.

Im Berichtszeitraum wurden zwei Workshops in Leipzig, Hannover und Clausthal durchgeführt. Beim Vergleich der Berechnungen zum Aufstieg eines Salzstocks zur Modellierung kleiner Differenzspannungen treten bei TUBSSalt aufgrund der höchsten sekundären Kriechrate auch die größten Verformungen auf. Dies bewirkt einen stärkeren Abbau der Differenzspannungen. Trotz geringer Datengrundlage zeigt der Vergleich bereits ein gutes Ergebnis.

Bei der Prognoseberechnung der Verheilungsversuche hat sich gezeigt, dass unter den Versuchsbedingungen der an der TUC zurzeit laufenden Versuche im Modell TUBSSalt keine Verheilung einsetzt. Dies ist dadurch begründet, dass der Spannungszustand in der Verheilungsphase keinen ausreichend großen Abstand zur Dilatanzgrenze hat. Weiterhin ist bei TUBSSalt und anderen Modellen festzustellen, dass anhand der Parameter sehr sensibel gesteuert werden muss, ob unter den Versuchsbedingungen ein Kriechbruch auftritt.

Es wurden weitere Sensitivitätsanalysen zur Berechnung des Biegebalkens vorgestellt, hauptsächlich bezogen auf die Entwicklung der Schädigung in Abhängigkeit der Zeitschrittsteuerung.

In Zusammenarbeit mit dem IfG wurde ein Modell für den Virtuellen Demonstrator erstellt, welches auf dem letzten Workshop an alle Partner für einen ersten Berechnungsdurchlauf verteilt wurde. Das Modell TUBSSalt wurde für FLAC3D 6.0 angepasst und erste Berechnungen mit der neuen Version durchgeführt. Die gemeinsamen Berechnungen des Projekts werden allerdings weiterhin zunächst mit Version 5.1 durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Zeit liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Berechnung des Virtuellen Demonstrators. Erste Probleme mit dem 3D-Modell sind aufgetreten, die zu unplausiblen Phänomenen bzgl. Schädigungsentwicklung geführt haben. Ebenso werden weitere Prognosen für das umfangreiche Programm der Verheilungsversuche durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Missal, C.; Gärken, A.; Stahlmann, J. (2016): Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (Verbundprojekt: Teilvorhaben 6) Endbericht des Teilvorhabens. TU Braunschweig, Institut für Grundbau und Bodenmechanik. Braunschweig

Missal, C.; Gärken, A.; Stahlmann, J. (2016): Ein thermisch-mechanisches Stoffmodell für Steinsalz mit Berücksichtigung von Schädigung, Bruch und Verheilung. geotechnik, 39. Jahrgang, Heft 1, S. 2-17, Ernst & Sohn, Berlin

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11446E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 406.332,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel, IfG Leipzig, Leibniz Universität Hannover, TU Braunschweig und TU Clausthal (FKZ 02E11446A bis E) hat das Gesamtziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in untertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziierter Partner beteiligen sich die Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA. Die Arbeiten ergeben sich aus dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Modellierung des thermomechanischen Verformungsverhaltens von Steinsalz, hier fokussiert auf die flache Lagerung, der beim Vergleich aktueller Stoffmodelle und Berechnungsverfahren in drei Verbundprojekten zwischen 2004 und 2016 identifiziert wurde. Es wird eine verbesserte physikalische Beschreibung der in AP1 bis AP4 genannten Phänomene erarbeitet. Begleitend werden spezifische experimentelle Untersuchungen und exemplarische numerische Simulationen mit endlagerrelevanten Detailmodellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden miteinander, mit experimentellen Befunden und In-situ-Beobachtungen verglichen. Auswirkungen der verbesserten Modellierung werden anhand eines komplexen gebirgsmechanischen 3D-Modells in AP5 demonstriert. Das Verbundprojekt weist einen engen thematischen Bezug zum BMWi-Vorhaben „Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Verformungsverhalten bei kleinen Deviatorspannungen
- AP2: Einfluss von Temperatur und Spannungszustand auf die Schädigungsrückbildung
- AP3: Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastungen
- AP4: Einfluss von Grenzflächen im Steinsalz auf die Verformung (Wechselagerung)
- AP5: Virtueller Demonstrator
- AP6: Administrative Arbeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum führten die Projektpartner am 02./03. Februar in Leipzig, am 27./28. März in Hannover und am 23./24. Mai 2017 in Clausthal-Zellerfeld jeweils einen Projekt-Workshop durch. Die Projektpartner diskutierten auf den Workshops Arbeiten zu mehreren Themenbereichen des Projekts. Der Zuwendungsempfänger stellte auf dem Treffen in Leipzig eine weitere Modifizierung seines Stoffmodells hinsichtlich der Schädigungsentwicklung im Steinsalz unter Zugbeanspruchung vor. Damit zeigt sich im Ergebnis bei einer numerischen Nachrechnung des untersuchten Spaltzugversuchs („Brazilian-Test“) eine verbesserte Konzentration der volumetrischen Verformung in dem Prüfkörperbereich, in dem sich der Zugriss im Laborversuch entwickelt hat. Des Weiteren ist das Ergebnis eines durchgeführten Verheilungsversuchs mit veränderter Belastungsgeschichte präsentiert worden. Durch die modifizierte Prüfkörperbeanspruchung kann an einer Probe das schädigungsfreie Kriechverhalten, die Dilatanzgrenze, das (schädigungsinduzierte) Kriechverhalten oberhalb der Dilatanzgrenze, der Spannungszustand, ab dem sich die Schädigung im Prüfkörper wieder zurückbildet sowie das Schädigungsrückbildungsverhalten (Verheilung) charakterisiert werden. Parallel wurden vom Zuwendungsempfänger weitere Versuchsserien geplant, die das Verheilungsverhalten von Steinsalz nach einer erfolgten kontrollierten Schädigung bei verschiedenen Spannungszuständen und Temperaturen zeigen. Von diesem Versuchsprogramm ist die erste Serie im Frühjahr 2017 gestartet und vorläufige Messergebnisse sind den Partnern auf den Workshops präsentiert worden. Die zu den genannten Versuchen durchgeführten Vor- und Nachrechnungen hat der Zuwendungsempfänger auf den Projekt-Workshops in Hannover und Clausthal-Zellerfeld dargestellt. Die Ergebnisse aus numerische Simulationen zu einem Salzstockaufstieg, der insbesondere das Kriechverhalten von Salzgestein bei kleinen deviatorischen Spannungen charakterisiert, sind für einen gemeinsamen Ergebnisvergleich der Partner an das IfG Leipzig übergeben worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird am achten Projekt-Workshop am 21. August 2017 in Leipzig teilnehmen und weitere numerische Simulationen zu den geplanten Verheilungsversuchen sowie erste Berechnungen zum Virtuellen Demonstrator (AP5) durchführen. Die Verheilungsversuche werden gemäß der Planung fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11456A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e ²), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2016 bis 28.02.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 720.962,00 EUR	Projektleiter: Dr. Huber	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, die Kenntnisse zur Langzeit-Integrität der Bentonitbarriere im Kontakt mit niedrig mineralisierten Grundwässern (z. B. glazialen Schmelzwässern) und die damit verbundene Bentonit-Erosion und potentielle Mobilisation von Tonminerkolloide/-Nanopartikel aus dem Nahfeldbereich zu untersuchen. Ein weiterer Aspekt ist die Radionuklid-Kolloid und Kolloid-Gesteinsoberflächen-Wechselwirkung und der zugrundeliegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erweitern 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. Es schließt damit an die Arbeiten der vorangegangenen KOLLORADO Vorhaben an.

Im Einzelnen soll das experimentelle Programm im Labor und im Untertagelabor Grimsel durch die im KIT-INE angewandten spektro-/mikroskopischen Methoden dazu beitragen, ein verbessertes mechanistisches Verständnis der Integrität der Bentonitbarriere und des kolloidgetragenen Radionuklidtransports zu erreichen. Zudem sollen die Übertragbarkeit der Labordaten auf natürliche Systeme überprüft und Eingangsdaten für die in der Langzeitsicherheitsanalyse verwendeten Codes ermittelt werden. Im Rahmen der Modellierungsarbeiten werden die Codes COFRAME und d³f++ für den kolloidgetragenen Schadstofftransport anhand von In-situ-Experimenten am Standort Grimsel weiter qualifiziert und Modelle zu Bentoniterosion weiterentwickelt und angewandt. Im vorliegenden Bericht werden die Arbeiten des KIT beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Status: Der LIT Mock-up Test wurde fortgesetzt. Die Amino-G-Konzentration nähert sich nach 300 Tagen der Hintergrundkonzentration und der Wiedererhalt kann mit ca. 50 % quantifiziert werden. Erst nach 170 Tagen steigt die Al-Konzentration (Bentonitkolloide) an. Von den in der Quelle enthaltenen Radionukliden (RN) konnten bislang ⁹⁹Tc, ²³³U (1 %) und ²³⁷Np (1 %) detektiert werden, wobei im Fall von ⁹⁹Tc isobare Interferenzen für die SF-ICPMS gezeigt werden konnten. Eine Analyse mittels AMS an vier LIT Proben zeigte im Vergleich eine bis zwei Größenordnungen niedrigere ⁹⁹Tc Konzentration. Die LIBD Charakterisierung der erodierten Partikel

steht noch aus. Ein weiteres Erosions-Experiment mit kompaktiertem Bentonitring wird momentan für eine Machbarkeitsstudie zum Überbohren des LIT-Versuchs vorbereitet. Die kinetischen Batch Sorptions- und Desorptionsstudien (> 100 d) zur RN- Reversibilität an Kluftfüllmaterial des Grimsel Granodiorits für die Einzelelemente Am, Np, Pu und Tc sowie für einen Radionuklidcocktail (Am, Np, Pu, Tc und U) wurden beendet.

Experimente zum Effekt der komplexen Fließkanalgeometrie auf den Tracertransport bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten wurden beendet. Ein semi-3D Transportmodell kann die experimentell erzielten Ergebnisse für den konservativen Tracer gut reproduzieren. Im Anschluss wurden die Versuche mit Illit-Kolloiden und direkter Detektion mittels LIBD unter identen hydrogeochemischen Bedingungen wiederholt. Die Ergebnisse werden noch ausgewertet, zeigen aber einen früheren Ersteinsatz des Kolloid- Tracers (max. 20 %). Darüber hinaus wurde das neue Laborprogramm zum Effekt von sauerstoffreichen glazialen Schmelzwässern auf die RN- Mobilisierung in geklüfteten Bohrkernen begonnen. Nach einer Generalüberholung der Kapillarelektrophorese CE-ICP-MS wird diese momentan zur Bestimmung der Nachweisgrenze von Tc(VII)- bzw. Tc(IV)-Spezies getestet.

AP1.2: Status: Schwerpunkt der Arbeiten im 1. Halbjahr 2017 lag weiterhin auf der begleitenden Analytik und Interpretation der Proben des „Long term In-situ-Test (LIT)“ sowie Proben des Remobilisationstest („REMOB“).

- (a) Ein neues Verfahren für die Ultraspurenanalytik von ^{99}Tc und Actiniden mittels AMS wurde entwickelt. Die Methode wird gerade an Referenz- Materialien getestet und dann auf die LIT Proben angewendet.
- (b) Der Versuch (REMOB-Test) der hydraulischen Störung des Injektionsbereichs von Run 13-05 durch Fließrichtungsumkehr und Erhöhung des Volumenstroms auf max. 192 mL/min zeigte nur eine relativ geringe Erhöhung der Kolloidkonzentration (LIBD) auf maximal 154 ppb bei einer mittleren Teilchengröße von 8-44 nm. Die experimentelle Idee der Remobilisation von Ni-markierten synthetischen Montmorillonitkolloiden und der Bestimmung einer RN Desorptionskinetik gestaltet sich als analytische Herausforderung, da schon die Ni Konzentrationen nahe der SF-ICP-MS Nachweisgrenze liegen und somit die Actinidenkonzentrationen im ppq Bereich zu erwarten sind und nur mittels AMS erschlossen werden können. Diese Analysen sind geplant.
- (c) Die neuen AMS Ergebnisse des Run 13-05 zeigen deutliche Signale von ^{241}Am und ^{244}Pu aus dem CRR Feldexperiment von 2002. Dieser Fund wurde kürzlich veröffentlicht und hat ein neues Experiment motiviert (REMO-II); die Injektion von Bentonitkolloiden als Konkurrenzoberfläche in den Injektionsbereich von Run 13-05 (CRR 99.02). REMO-II, der als Push- Pull- Test geplant war, musste aufgrund ungünstiger hydraulischer Bedingungen vor Ort angepasst werden. Die Injektion der Bentonitsuspension verlief erfolgreich, allerdings reichte die maximale Extraktionspumprate ohne Störung des LIT Experiments nicht aus um signifikante Anteile der Suspension wieder zu extrahieren. Daher wurde die Extraktion gestoppt und die Kolloidfahne in Richtung Pinkel Oberflächenpacker geleitet und kontinuierlich beprobt. Die Analyse der Proben dauert an.
- (d) Die LIBD Feldkampagne zur Messung der Kolloidmobilisierung in der CFM Scherzone durch einen Stimulationstest der ISC Experiments (ETH Zürich) zeigte keine detektierbare Kolloidmobilisierung.

AP2.4: Status: Modellierungen zum Einfluss der Kluftgeometrie auf die Bentoniterosion sind abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen einen Einfluss der Kluftheterogenität und Aperturkorrelationslänge auf die Erosion für Fließgeschwindigkeiten v von 1×10^{-5} m/s bis 5×10^{-7} m/s. Für $v < 1 \times 10^{-7}$ m/s sind keine Effekte mehr zu erkennen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1 & 2: Schwerpunkt des nächsten ½ a werden neben den laufenden Laborversuchen und Modellierungen vor allem die Machbarkeitsstudien zur Überbohrung von LIT sein. Mehrere Protokolle der Imprägnation der Kontaktzone werden getestet. Außerdem werden zur Untersuchung der Wechselwirkungen von Tc(IV)/ Tc(VII) mit der Kapillarrinnenwand der CE-ICP-MS inaktive Experimente mit dem Rheniumhomolog durchgeführt und Flüssigkeitsextraktionen mit Tetraphenylphosphoniumchlorid (TPPC) getestet.

AP3: Für KOLLORADO- e^2 wird weiterhin auf Publikationen in peer-review Journalen fokussiert (siehe 5.).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Stoll et al. (2017) Coll. Surf. A 529, 222-230. Huber et al. (2017) Appl. Geochem. 80, 90-101. Quinto et al. (2017) Anal. Chem. DOI: 10.1021/acs.analchem.7b01359. Drake et al. (2017) Procedia Earth and Planetary Science 17, 841-844.

Stoll et al. (in prep.): Impact of flow channel geometry on colloid transport through altered granitic fractures.

Rinderknecht et al. (in prep.): RN sorption reversibility studies on fracture filling material in presence and absence of bentonite colloids.

Rinderknecht, Huber, Heck, Schäfer (in prep.): Long-term bentonite erosion in an artificial fracture under near-natural conditions.

Huber, Leone, Trumm, Neretnieks, Moreno, Wenka, Schäfer (in preparation): Impact of fracture geometry on bentonite erosion.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11456B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e^2), Teilprojekt B	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2016 bis 28.02.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 298.115,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, die Kenntnisse zur Radionuklid-Kolloid und Kolloid-Gesteinsoberflächen Wechselwirkung und der zugrundeliegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erweitern 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. Es schließt damit an die Arbeiten der Vorhaben KOLLORADO-1 und KOLLORADO-2 an.

Im Einzelnen soll das experimentelle Programm im Labor und im Untertagelabor Grimsel durch die im KIT-INE angewandten spektroskopischen und mikroskopischen Methoden dazu beitragen, ein verbessertes mechanistisches Verständnis der Integrität der Bentonitbarriere und des kolloidgetragenen Radionuklidtransports zu erreichen. Zudem sollen die Übertragbarkeit der Labordaten auf natürliche Systeme überprüft und Eingangsdaten für die in der Langzeitsicherheitsanalyse verwendeten Codes ermittelt werden. Im Rahmen der Modellierungsarbeiten werden die Codes COFRAME und d³f++ für den kolloidgetragenen Schadstofftransport anhand von In-situ-Experimenten am Standort Grimsel weiter qualifiziert und Modelle zu Bentoniterosion und Transport weiterentwickelt und angewandt.

Im vorliegenden Bericht werden die Arbeiten der GRS beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Koordination in Kooperation mit KIT-INE und Durchführung des internationalen Benchmarks zur Speziation der in den CFM-Feldexperimenten verwendeten Radionuklide. Versendung der Excel-Datei mit der Aufgabenstellung an die Teilnehmer aus USA, UK, Südkorea, Japan, Deutschland und Tschechien. Durchführung und Dokumentation der Rechnungen zu Teil 0, 1 und 2 des Benchmarks.
Durchführung von Screening-Rechnungen für ein Remobilisierungsexperiment im Felslabor Grimsel, bei dem Grimsel-Grundwasser mit einer hohen Konzentration von Bentonit-Kolloiden in einen Dipol injiziert und dadurch Radionuklide aus den dort vorher durchgeführten Versuchen mobilisiert werden sollten. Abschätzung der zu erwartenden Radionuklidkonzentrationen und Überprüfung des Einflusses der Kolloidkonzentration und der Injektionsdauer.
Erstellung eines konzeptuellen Modells zur späteren Simulation von Strömung und geochemischen Prozessen im Nahbereich des LIT-Experiments.
- AP3: Durchführung eines Arbeitstreffens und Abstimmung der Arbeiten mit dem Projektpartner KIT-INE sowie NAGRA und Fracture Systems als Repräsentanten des CFM Projekts.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Abschluss und Dokumentation der Speziationsrechnungen zu Teil 3 des internationalen Benchmarks. Sammlung und Zusammenstellung der Ergebnisse aller Teilnehmer und Vorbereitung eines zusammenfassenden Berichts.
Durchführung von weiteren Rechnungen zum Remobilisierungsexperiment im Felslabor Grimsel unter Berücksichtigung der realen experimentellen Randbedingungen.
Implementierung des konzeptuellen Modells zur Simulation der Prozesse im Nahbereich des LIT-Experiments in PHAST und Durchführung erster Testrechnungen.
Weiterführung der Simulationsrechnungen zu den Durchbruchkurven für U und Np in CFM RUN 13-05 und CRR #32 unter Berücksichtigung der Redoxkinetik.
- AP3: Teilnahme an dem nächsten CFM-Modeller Meeting mit Präsentation und Diskussion der Ergebnisse mit den anderen Modellierergruppen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11466
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.3	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.447.555,00 EUR	Projektleiter: Reiche

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Inhalt dieses FuE-Vorhabens ist die Entwicklung eines Rechenmoduls für das Programmpaket RepoTREND zur Simulation von Prozessen im Nahfeld eines Endlagersystems. Dabei muss die dem Nahfeldmodul zugrunde liegende Softwarearchitektur (sie definiert die grundlegenden Komponenten eines Softwaresystems und beschreibt die Zusammenhänge, die zwischen den Komponenten bestehen) vor allem eine hohe Modularität der Programmstruktur und eine hohe Flexibilität gegenüber neuen Anforderungen aufweisen, um eine einfache Modifikation und Erweiterung des Programmcodes zu gewährleisten. Die Entwicklung einer Softwarearchitektur mit den genannten Hauptmerkmalen ist eine Voraussetzung für den Erfolg des gesamten Projekts und beeinflusst maßgeblich den erforderlichen Aufwand für die Entwicklung des Programmcodes. Die Erstellung relevanter Softwarearchitektur gilt deswegen als das wichtigste Teilziel des Projekts.

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: Anforderungsanalyse und Wissensmanagement. Anforderungen werden ermittelt, spezifiziert, analysiert, strukturiert, abgestimmt und bewertet. Das Wissensmanagement umfasst sowohl interne Maßnahmen (wie Know-How-Transfer durch interne Diskussionsrunden) als auch das Einbeziehen des Know-Hows von externen Experten (z. B. durch die Teilnahme an den fachlichen Konferenzen).
- AP2: Vorarbeiten für die Codeentwicklung. Neue Konzepte und Modelle müssen erstellt werden: konzeptionelles, mathematisches und numerisches Modell des Nahfeldmoduls, Entwurf der Softwarearchitektur, Entwurf einzelner Programmkomponenten, Optimierungskonzepte.
- AP3: Codeentwicklung. Umsetzung der in AP2 erarbeiteten Konzepte in einen Programmcode.
- AP4: Test, Qualitätssicherung, Dokumentation. Umfangreiche Tests ist in allen Programmentwicklungsphasen werden durchgeführt. Die folgenden QS-Maßnahmen werden geleistet: Standardisierung der Arbeitsprozesse, Versions- und Konfigurationsmanagement, Release-Freigebe, Bugtracking, Lokalisierung von Problemen, Programmkommentare, Konventionen, Review des Programmcodes. Die gesamte Entwicklung über alle Phasen wird ausführlich dokumentiert.
- AP5: Verfolgung von Anforderungen aus aktuell laufenden FuE-Projekten. Die Anforderungen aus den aktuell laufenden FuE-Projekten werden aufgenommen und so weit analysiert, dass eine Entscheidung getroffen werden kann, ob eine Anforderung bei der aktuellen Entwicklung berücksichtigt werden kann oder später, im Rahmen eines separaten Projekts bzw. Arbeitspakets, realisiert werden soll.
- AP6: Berichte zum Projektfortschritt. Alle durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden in Halbjahres- und Jahresberichten sowie im Abschlussbericht dokumentiert.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Vom 9. bis zum 13. April wurde an der Konferenz „International High-Level Radioactive Waste Management (IHLRWM 2017)“ in Charlotte (NC, USA) teilgenommen. Auf der Konferenz wurden alle Fragestellungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern von hoch radioaktiven Abfällen thematisiert. Die

Teilnahme an der Konferenz stellte eine gute Möglichkeit dar, den Stand des Programmpakets RepoTREND zu präsentieren, zu diskutieren und Anregungen für die weitere Programmentwicklung zu beziehen sowie einen Überblick über das aktuelle Wissen und die Erfahrungen anderer internationaler Arbeitsgruppen auf dem Gebiet der Prozessmodellierung in einem Endlager zu erlangen. Das Projekt RepoTREND+ wurde mit zwei Vorträgen präsentiert (s. Pkt. 5.).

Es wurde mit der tieferen Analyse der Anforderungen an einen Rechengittergenerator begonnen. Zurzeit wird ein sehr einfaches, im Rahmen des Projekts RepoTREND+ ausgearbeitetes ASCII-Format zur Beschreibung eines Finite-Volumen-Rechengitters (diskretisiertes Modellgebiet) verwendet. Für die typischen fachspezifischen Anwendungsfälle ist die Beschreibung des Modellgebiets nach dieser Art jedoch nicht praktikabel (unübersichtlich, fehleranfällig und arbeitsintensiv). Der Einsatz eines Rechengittergenerators ist erforderlich, um die Qualität von Rechenergebnissen zu sichern. Der Generator soll vor allem die erforderliche Güte der zu erstellenden Rechengitter gewährleisten, aber auch ausreichend flexibel und komfortabel bei der Arbeit sein.

- AP2: Es wurde an den Konzepten zur Realisierung von Anfangs- und Randbedingungen gearbeitet. Es wurden Optimierungskonzepte ausgearbeitet, die auf der Berücksichtigung moderner Rechnertechnologien wie SIMD (Single Instruction, Multiple Data) und ccNUMA (Cache Coherent Non-Uniform Memory Access) basieren. Diese Technologien ermöglichen eine optimale Speichernutzung auf jedem Level, schnellen Zugriff auf die Daten, Parallelisierung bei der Ausführung gleichartiger Rechenoperationen u. ä., was zu einer erheblichen Performanceverbesserung führen kann.
- AP3: Die Umsetzung von bereits existierenden Konzepten wurde fortgesetzt. Entsprechend dem im AP2 beschriebenen Optimierungskonzept wurden massive Refaktorisierungsmaßnahmen (Strukturverbesserung) für den bereits vorhandenen Code durchgeführt.
- AP4: Im Rahmen dieses APs ist geplant, Vergleiche mit dem Programm PFLOTRAN vorzunehmen, das von Sandia National Laboratories (USA) für die Bewertung von Endlagersystemen eingesetzt wird. Dadurch soll zum einen das konzeptionelle Modell überprüft und ggf. erweitert werden; zum anderen dienen die Vergleiche der Qualitätssicherung des bereits vorhandenen Codes. Am Rande der Konferenz IHLRWM 2017 hat ein Gespräch mit den Kollegen von Sandia stattgefunden, bei dem im Wesentlichen Eigenschaften beider Programmpakete einander gegenübergestellt und analysiert wurden. Ein erster Testfall sowie das weitere Vorgehen wurden diskutiert. Die Details des Testfalls werden derzeit abgestimmt. Erste Analysen ergaben, dass diverse Unterschiede in den zugrunde liegenden Modellen, Ansätzen und Vorgehensweisen bestehen. Weitere Diskussionen und Abstimmungen sind erforderlich. Die Bibliothek von automatischen Testfällen, die für RepoTREND entwickelt und gepflegt wird, wurde um Unit-Tests zu neu implementierten Programmstrukturen erweitert. Nach der Evaluierung der Konzepte zum sogenannten Single-Source-Publishing (Einzelquellenausgabe) wurde das Tool Documenta ausgewählt. Der erste Entwurf für die Benutzerhilfe zur grafischen Benutzeroberfläche XENIA wurde bereitgestellt und an XENIA angebunden. Die entwickelten Konzepte, zugrunde liegenden Entscheidungen sowie der Projektfortschritt wurden dokumentiert.
- AP6: Der vorliegende Bericht wurde erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Schwerpunkt im nächsten Halbjahr ist das AP2. Weiterhin sollen für das Nahfeldmodul *NaTREND* relevante vorhandene Modelle und Konzepte identifiziert und evaluiert sowie eigene Konzepte erstellt werden. Die Arbeiten zur Bereitstellung eines Rechengittergenerators werden fortgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Tatiana Reiche: RepoTREND - Program Package for Safety Analysis of Radioactive Waste Repository Systems, 9.-13. April 2017, Charlotte (NC, USA)

Dirk-A. Becker, Tatiana Reiche: RepoSTAR - Framework for Statistic Runs Regarding Uncertainty and Sensitivity Analysis, 9.-13. April 2017, Charlotte (NC, USA).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11476A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.3	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 723.180,00 EUR	Projektleiter: Schneider

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit d^3f und r^3t wurden Werkzeuge zur Modellierung der dichteabhängigen Grundwasserströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien (Vorhaben GRUPRO bzw. TRAPRO) mit expliziter Berücksichtigung von Wärmetransport, Klüften und Kluftsystemen sowie freier Grundwasserflächen (E-DuR) entwickelt. Durch die Umstellung auf die neue, C++-basierte Plattform UG4 erfuhren die Codes eine deutliche Beschleunigung und wurden zu einem einheitlichen Werkzeug „ d^3f++ “ integriert (A-DuR, H-DuR). Der Code d^3f++ wurde bzw. wird in den Vorhaben WEIMAR, QUADER und SANTOS angewendet.

Das Vorhaben hat eine Anwendung des Grundwasserströmungs- und Transportcodes d^3f++ auf endlagerrelevante Aufgabenstellungen, Vergleichsrechnungen mit anderen Codes und damit einen Nachweis seiner Leistungsfähigkeit sowie die Erhöhung des Vertrauens in die Modellierungsergebnisse zum Ziel. Dazu gehören eine Weiterentwicklung der Lösungsverfahren insbesondere für regionale Modelle mit freier Grundwasserfläche, eine weitere Beschleunigung und eine breitere Anwendbarkeit. Letzteres soll neben Verbesserungen in Benutzeroberfläche und Präprozessor durch die Einführung eines Speicherterms geschehen, dessen Implementierung in d^3f++ eine genauere Modellierung kurzfristiger Prozesse ermöglicht.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP1: Anwendungs- und Vergleichsrechnungen

AP2: Erweiterung des Anwendungsbereichs d^3f++

AP4: Projektleitung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1.1: Äspö Task 9:
Zur Erklärung der augenscheinlich diffusiven Tracerausbreitung mit zwei örtlich verschiedenen Diffusionskoeffizienten wurde mit Hilfe von Modellrechnungen auf der Grundlage von Äspö-spezifischen Parametern untersucht, welchen Einfluss die Druckentlastung des Grundwassers infolge der Bohrung des Testbohrlochs auf den Diffusionstest gehabt haben könnte. Eine solche Entlastung reicht danach auch nach 15 Jahren nicht einmal 60 m tief in das Gestein. Die resultierende Wasserschüttung behindert den diffusiven Eintrag von Tracern im Modell deutlich. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse des Skin-Workshops in Prag 2016 wurde zusammen mit Bill Lanyon (Fracture Systems Ltd.) geplant. Format und Zeitplan wurden verabredet.
- AP1.2: Site Descriptive Model (SDM) für Äspö
Bei der Sichtung der sehr umfangreichen und tiefgehenden Literatur von SKB zeigte sich, dass eine komplexere Charakterisierung des Gesteins als bisher angenommen erforderlich wird. Parallel dazu werden zur Vorbereitung des 3D-Modells Einzelaspekte wie z. B. der Einfluss der Grundwasseroberfläche auf die Strömung oder die adäquate Repräsentation von Klüften und Störungszonen prinzipiell in einem 2D-Vertikalmodell unter Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse untersucht. In einer Videokonferenz mit SKB International wurden offene Fragen geklärt und weiterer Bedarf an Datenmaterial übermittelt.
- AP1.3: Modell der WIPP Site
Die Arbeiten an den Modellrechnungen mit freier Grundwasseroberfläche wurden fortgeführt.
- AP4: Am 16.6.2017 fand beim G-CSC in Frankfurt das zweite Projekt-Statusgespräch statt. Dabei stellten die GRS-Mitarbeiter den Stand Anwendungsrechnungen und die G-CSC-Mitarbeiter die bis dahin erfolgten Entwicklungsarbeiten vor, die zeitliche Planung der weiteren Arbeiten wurde aktualisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.1: Task 9: Erarbeitung einer neuen Herangehensweise an die Modellrechnungen zu Task 9 und Umsetzung.
- AP1.2: Fortsetzung der Arbeiten am hydrogeologischen Modell für das SDM Äspö sowie der Arbeiten am 2D-Vertikalmodell. Vorbereitung des 3D-Modells.
Teilnahme am Workshop von SKB International zum SDM im Oktober
- AP1.3: WIPP-Site: Die Rechnungen mit freier Oberfläche werden optimiert und für eine Modellzeit von 14 000 Jahren fortgeführt, die Grundwasserstände werden anhand der vorhandenen Messwerte kalibriert.
- AP2.1: Die Rechnungen zur Druckentlastung, die zunächst versuchsweise mit COMSOL durchgeführt worden sind, sollen die Grundlage für eine Überprüfung der Implementierung des Speicherterms in d^{3f++} bilden.
- AP4: Das nächste Projektstatusgespräch wird im November 2017 stattfinden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Theodor-W.-Adorno-Platz 1, 60323 Frankfurt am Main		Förderkennzeichen: 02 E 11476B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.06.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 595.088,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Wittum	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziele des Projekts sind eine Anwendung des Grundwasserströmungs- und Transportcodes d^3f++ auf endlagerrelevante Aufgabenstellungen, Vergleichsrechnungen mit anderen Codes und damit einen Nachweis seiner Leistungsfähigkeit sowie die Erhöhung des Vertrauens in die Modellierungsergebnisse. Dazu gehört eine Weiterentwicklung von d^3f++ hinsichtlich einer verbesserten Robustheit der Lösungsverfahren insbesondere für regionale Modelle mit dünnen Schichten und freier Grundwasseroberfläche, einer weiteren Beschleunigung der Rechnungen und einer breiteren Anwendbarkeit. Letzteres soll neben Verbesserungen in der Benutzeroberfläche und der Modellerstellung durch die Einführung eines Speicherterms geschehen, der eine genauere Modellierung kurzfristiger Prozesse ermöglicht. Hierzu sollen im Projekt Anwendungs- und Vergleichsrechnungen: 1.1 Äspö Task 9, 1.2 „Äspö site descriptive model“, 1.3 Modell der WIPP Site (AP1), die Erweiterung des Anwendungsbereichs von d^3f++ : 2.1 Erweiterung der Strömungsgleichung in d^3f++ um einen Speicherterm, 2.2 Weiterentwicklung des Präprozessors ProMesh (AP2) und die Weiterentwicklung der Lösungsverfahren: 3.1 Übertragung und Implementierung des LIMEX-Verfahrens, 3.2 Robuste Glättungsverfahren für den geometrischen Mehrgitterlöser, 3.3 Verbesserung der Grobgitterkorrektur, 3.4 Anpassung der FAMG-Verfahren an die thermohaline Grundwasserströmung und parallele Skalierbarkeit, 3.5 Parallele adaptive Verfahren und angepasste Gitterstrukturen, 3.6 Stabile Modellierung freier Grundwasseroberflächen (AP3) eingebracht werden.

Die Ergebnisse werden zusammen mit den Projektpartnern verwertet. Das Simulationssystem UG ist weltweit über 390-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. Das Verbundprojekt ist ein Folgevorhaben der drei BMBF-Projekte vom 01.10.2006-31.03.2011 (FKZ 02E10326), vom 01.10.2008-30.09.2012 (FKZ 02E10568) und vom 01.03.2012-31.10.2015 (FKZ 02E11062).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

- AP1: Anwendungs- und Vergleichsrechnungen
- AP2: Erweiterung des Anwendungsbereichs von d^3f++
- AP3: Weiterentwicklung der Lösungsverfahren

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die Parallelisierung der WIPP Testrechnungen wurde weiter verbessert. Neben Fehlerbehebungen im Gittergenerierungsprozess erlaubte es unter anderem eine Verbesserung der Strategie zur Zuweisung der Elemente an einzelne Prozessoren, die Testrechnungen mit parallelem geometrischen Mehrgitterverfahren auf bis zu 4096 Prozesse auszuweiten. Dabei wurde mit einer Zeitschrittweite von 50 Jahren über einen Zeitraum von 20000 Jahren auf einer Geometrie mit 287 Millionen Elementen gerechnet. Die hohe Prozesszahl erlaubt es, Feldrechnungen in bisher nicht möglichem Detailgrad auszuführen. Dies ist essenziell, um wichtige Effekte des betrachteten Problems aufzulösen und Gitterkonvergenz nachzuweisen.

AP2: Am Skriptinterface von d^3f++ , mit dem die textbasierte Eingabe eines Modells und der den Simulationsablauf beschreibenden Parameter realisiert ist, wurden einige Änderungen zur Erleichterung der Eingabe von vorhandenen Daten vorgenommen. Darüber hinaus wurden einige neu aufgetretene Fehler und Unzulänglichkeiten im Transportteil von d^3f++ korrigiert.

AP3: Beim LIMEX-Verfahren handelt es sich um ein linear implizites Verfahren mit Extrapolation, welches ursprünglich aus dem Bereich der gewöhnlichen Differentialgleichungen kommt. Es wurde nun im Rahmen von UG4 und d^3f++ auch für partielle Differentialgleichungen implementiert und für die Dichteströmungen ausführlich getestet. Bei diesem Verfahren werden bei der Zeitintegration lediglich ineinander verschachtelte zwei Schleifen (für das Zeitschrittverfahren und den linearen Löser) benötigt, die dritte Schleife für das Newton-Verfahren entfällt. Somit werden Probleme durch etwaig auftretende unphysikalische Probleme vermieden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ergibt sich daraus, dass mit einer inexakten Jacobimatrix gearbeitet werden kann. Dies ermöglicht, etwaig störende Terme explizit zu behandeln, was im Hinblick auf den linearen Löser vorteilhaft ist.

LIMEX erwies sich sowohl in 2D als auch in 3D als lauffähig. Getestet wurde das Verfahren für die lineare Konvektions-Diffusionsgleichung sowie für die vollen Gleichungen der Dichteströmungen für das Elder-Problem (2D, 3D) und den Gorleben-Testfall (2D, mit starken Heterogenitäten und Dispersion).

Das Verfahren detektiert automatisch eine passende Zeitschrittweite und Integrationsordnung, wobei Verfahrensparameter problemunabhängig gewählt werden können. Um den Integrationsfehler bei den Dichteströmungen zu schätzen, erwies sich eine gewichtete Norm als sinnvoll, welche eine Kombination der H^1 -Halbnorm für den Druck und der H^1 -Norm für den Salzmassenbruch verwendet. Beide werden mittels der Normen aus dem vorherigen Zeitschritt so skaliert, dass sich Werte im Einheitsintervall ergeben. Die (vorzuziehende) Toleranz für die Integrationsgenauigkeit ist entsprechend etwa bei 0,1 % zu wählen.

Bzgl. der Approximation der Jacobi-Matrix ist es sinnvoll, die Terme der Ableitungen, die sich durch Nachdifferenzieren ergeben, explizit zu behandeln. Dadurch entkoppeln die (linearen) Gleichungen, wodurch Probleme mit divergierenden Glättern im Mehrgitterverfahren vermieden werden. Ähnliches gilt bei Verwendung der Dispersion für die Terme aus der Ableitung der Geschwindigkeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11486A	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3			
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2018		Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 224.999,00 EUR		Projektleiter: Dr. Wolf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Wesentlichen soll eine Vorgehensweise entwickelt werden, die eine nachvollziehbare Abwägung zwischen den Anforderungen an die Sicherheit während der Betriebsphase und der Langzeitsicherheit erlaubt. Für die deutschen Endlagerkonzepte in Ton- und Salzgestein werden auf der Basis von FEP die Abhängigkeiten zwischen Betriebs- und Nachverschlussphase dokumentiert. Darauf basierend sollen Methoden und Ansätze entwickelt werden, die eine nachvollziehbare Bewertung der Abhängigkeiten von Betriebs- und Nachbetriebsphase erlauben. Des Weiteren werden im Rahmen der Arbeiten die Grundzüge für ein Sicherheitskonzept in der Betriebsphase erstellt und geprüft, ob es Harmonisierungsbedarf zwischen den Sicherheitskonzepten der Betriebs- und Nachverschlussphase gibt. Mit diesem Vorhaben werden neuartige konzeptionelle Ansätze und methodische Voraussetzungen geschaffen, die es erlauben, einen konsistenten und in sich geschlossenen Sicherheitsnachweis zu führen. Die gemeinsame Bearbeitung des Vorhabens durch die DBE TECHNOLOGY und die GRS, insbesondere deren Arbeiten auf dem Gebiet der Betriebs- und Langzeitsicherheit und Mitarbeit in entsprechenden internationalen Gremien bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Durchführung des Vorhabens.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst die folgenden Arbeitspakete:

- AP1: Grundlagen (rechtlicher Rahmen, internationale Empfehlungen, Endlagerkonzepte)
- AP2: Grundzüge eines Sicherheitskonzepts für die Betriebsphase
- AP3: Zusammenstellung eines Kataloges mit FEP beim Bau und Betrieb eines Endlagers
- AP4: Bewertung der Betriebsphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Langzeitsicherheit
- AP5: Bewertung der Nachverschlussphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den sicheren Betrieb eines Endlagers
- AP6: Methoden und Ansätze
- AP7: Dokumentation

GRS ist federführend für die Arbeitspakete 1, 4, 6 und 7.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Arbeiten sind abgeschlossen. Am 8.6. fand zu den Ergebnissen ein Austausch mit Teilnehmern aus dem Vorhaben GEOSAF statt.
- AP2: Es wurden die Grundzüge eines Sicherheits- und Nachweiskonzepts erstellt und dokumentiert und auf den Treffen am 1.3., 20.3., 5.5. und 8.6. mit DBE Technology diskutiert.
- AP3: Die FEP-Liste für die Betriebsphase wurde auf den Treffen am 1.2., 1.3., 20.3., 5.5. und 8.6. mit DBE Technology diskutiert und auf der Grundlage der Ergebnisse aus AP2 erweitert.
- AP4: Die neu aufgenommenen FEP aus AP3 wurden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Langzeitsicherheit der deutschen Endlagerkonzepte in Salz- und Tongestein bewertet.
- AP7: Es wurde eine Struktur des Abschlussberichtes erstellt.

Die Arbeiten in den anderen APs wurden noch nicht begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die Arbeiten sind abgeschlossen und dokumentiert. Es wird über die GRS (Köln) ein weiterer Austausch mit dem Vorhaben GEOSAF geben.
- AP2: Das Sicherheits- und Nachweiskonzept wird detaillierter ausgeführt.
- AP3+4: Die Arbeiten an der FEP-Liste für die Betriebsphase und die Bewertung der FEP werden fortgeführt.
- AP5: Bewertung der FEP für die Nachverschlussphase von Endlagern in Ton- und Salzgestein hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Betriebsphase.
- AP6: Die Arbeiten in diesem AP (Synthese aus den AP2 bis AP5, Vorschläge zum methodischen Vorgehen) beginnen in der zweiten Hälfte des Jahres 2017.
- AP7: Bereits fertige Ergebnisse werden in den Abschlussbericht integriert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein Beitrag zu den Ergebnissen aus BASEL für die WM 2018 in Phoenix wurde mit DBE Technology abgestimmt.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11486B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 31.03.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 200.389,80 EUR	Projektleiter: Filbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das wesentliche Ziel des Vorhabens ist es, eine Vorgehensweise zu entwickeln, die eine nachvollziehbare Abwägung zwischen den Anforderungen an die Sicherheit während der Betriebsphase eines Endlagers für ausgediente Brennelemente und wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und der Langzeitsicherheit erlaubt. Für die deutschen Endlagerkonzepte in Ton- und Salzgestein werden auf der Basis von FEP die Abhängigkeiten zwischen Betriebs- und Nachverschlussphase dokumentiert. Darauf basierend sollen Methoden und Ansätze entwickelt werden, die eine nachvollziehbare Bewertung der Abhängigkeiten von Betriebs- und Nachbetriebsphase erlauben. Des Weiteren werden im Rahmen der Arbeiten die Grundzüge für ein Sicherheitskonzept in der Betriebsphase erstellt und geprüft, ob es Harmonisierungsbedarf zwischen den Sicherheitskonzepten der Betriebs- und Nachverschlussphase gibt. Mit diesem Vorhaben werden neuartige konzeptionelle Ansätze und methodische Voraussetzungen geschaffen, die es erlauben, einen konsistenten und in sich geschlossenen Sicherheitsnachweis zu führen. Die gemeinsame Bearbeitung des Vorhabens durch die DBE TECHNOLOGY und die GRS, insbesondere deren Arbeiten auf dem Gebiet der Betriebs- und Langzeitsicherheit und Mitarbeit in entsprechenden internationalen Gremien bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Durchführung des Vorhabens.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst die folgenden Arbeitspakete:

- AP1: Grundlagen (rechtlicher Rahmen, internationale Empfehlungen, Endlagerkonzepte)
- AP2: Grundzüge eines Sicherheitskonzepts für die Betriebsphase
- AP3: Zusammenstellung eines Kataloges mit FEP beim Bau und Betrieb eines Endlagers
- AP4: Bewertung der Betriebsphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Langzeitsicherheit
- AP5: Bewertung der Nachverschlussphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den sicheren Betrieb eines Endlagers
- AP6: Methoden und Ansätze
- AP7: Dokumentation

DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend für die Arbeitspakete 2, 3 und 5.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die zusammenfassende Darstellung der folgenden für das Vorhaben ausgewählten Endlagerkonzepte wurde abgeschlossen. Dies ist für Steinsalz:

- Die Streckenlagerung (POLLUX®-Behälter)
- Die Bohrlochlagerung (rückholbaren Kokille (BSK-R))
- Die horizontale Kurzbohrlochlagerung (Transport- und Lagerbehälter (TLB))

Tonstein:

- Die Streckenlagerung (POLLUX®-Behälter)
- Die Bohrlochlagerung (BSK-R)

Weiterhin wurden das für die Betriebssicherheit relevante nationale Regelwerk und die entsprechenden internationalen Empfehlungen zusammengestellt und ausgewertet. Außerdem wurde analysiert, ob und in welchem Umfang bisher die Wechselwirkungen zwischen Betriebssicherheit und Langzeitsicherheit in Regelungen/Empfehlungen für den Safety Case berücksichtigt wurden.

AP2: Es wurden die Grundzüge eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für die Betriebsphase erstellt.

AP3: Es wurde ein FEP-Katalog für Bau und Betrieb eines Endlagers zusammengestellt. Weiterhin wurde eine Methodik entwickelt, um auf Grundlage des FEP-Katalogs Einwirkungen von Innen (EVI) während des Endlagerbetriebs abzuleiten. Die Anwendung dieser Methodik wurde exemplarisch für das Teilsystem Schächte durchgeführt.

AP7: Ein erster Berichtsentwurf zum Gesamtvorhaben BASEL wurde diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Im 2. Halbjahr 2017 erfolgt der Abschluss der zusammenfassenden Darstellung des Regelwerks, der Empfehlungen zum Safety Case und der Endlagerkonzepte.

AP2: Sicherheits- und Nachweiskonzept für die Betriebsphase werden abschließend dargestellt. Maßnahmen für den sicheren Betrieb des Endlagers werden identifiziert.

AP3: Die Beschreibung des FEP-Katalogs zum Bau und Betrieb eines Endlagers und der Methodik zur Ableitung von EVI wird abgeschlossen.

AP4: Die Zuarbeit zur Bewertung der Betriebsphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Langzeitsicherheit wird aufgenommen.

AP5: Die Bewertung der Nachverschlussphase hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den sicheren Betrieb eines Endlagers wird aufgenommen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein gemeinsamer Beitrag zur Waste Management Conference 2018 wurde mit GRS abgestimmt.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11496A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2016 bis 30.04.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 786.134,00 EUR	Projektleiter: Dr. Muñoz

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Vorhabens ist das wesentlich verbesserte Verständnis der metallischen Korrosion der Abfallbehälter in salzhaltigen, geochemischen Milieus und der Rückhaltung von Actiniden durch die Korrosionsprodukte unter den im Nahfeld eines Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle im Ton- und im Salzgestein herrschenden Temperatur- und Druckbedingungen. Die Anwendung elektrochemischer Hochdruck/Hochtemperatur-Messmethoden mit samt moderner Spektroskopie- und Mikroskopie-Techniken soll dem Abbau von Ungewissheiten und Konservativitäten bei der Erstellung einer Langzeitprognose für die Freisetzung von Actiniden nach einem Ausfall von Endlagerbehältern dienen. Das Vorhaben steht in enger Verbindung zu dem Vorhaben KORPHA 02E11314, das die Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen zum Ziel hat. Beide Vorhaben leisten damit einen Beitrag zur sicherheitsanalytischen Bewertung des Langzeitverhaltens von Ton- und Salzformationen als Endlagerwirtsgesteine.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Einzelnen werden folgende Teilziele verfolgt:

- AP1: Aufbau einer elektrochemischen Messzelle zur Untersuchung der Korrosionskinetik
- AP2: Durchführung Voltammetrie- und elektrochemischer Impedanz-Experimente
- AP3: Identifizierung generierter Korrosionsprodukte: chem./kristallographische Analyse
- AP4: Morphologische Analyse der korrodierten Oberfläche und Identifizierung aktiver (Metallauflösung) und passiver (kathodische Gegenreaktion) Bereiche
- AP5: Bestimmung der Rückhaltung von Actiniden an ausgewählten
- AP6: Eisenkorrosionsprodukten, Identifizierung sorbierter Spezies und Aufklärung von Sorptionsmechanismen
- AP7: Pilotstudie zur Anwendung quantenchemischer Methoden zur Untersuchung der Actinidenwechselwirkung mit Eisenoxidoberflächen
- AP8: Koordination des Verbundvorhabens

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der Aufbau des elektrochemischen Druckreaktors ist vollzogen. Die Montage-Methode der Stahlproben durch das Einbetten in Araldit und das anschließende Abschleifen zur isolierenden Abgrenzung der korrodierenden Fläche wurde erfolgreich durchgeführt. Die extreme Korrosivität der für die Endlager repräsentativen Lösungen Q2 und Q3 hat zum Wechsel der anfangs angeschafften Hochdruck-Hochtemperaturelektroden aus Edelstahl durch ähnliche aus Titan veranlasst, was zu Zeitverzögerungen und zusätzlichen Materialkosten geführt hat. Darüber hinaus sind technische Probleme bei der Steuerung des Potentiostaten festgestellt worden. Diese sind Herstellungsmängeln zuzuschreiben. Dieses Hindernis wurde durch die vorläufige Benutzung des Potentiostaten für das Projekt EDUKEM aufgehoben. Das defekte Gerät befindet sich beim Hersteller zur Reparatur.
- AP2: Erste potentiodynamische Experimente an Edelstahl zur Bestimmung des Einflusses von Temperatur und Druck auf die Anfälligkeit für Lochfraßkorrosion von Edelstahl (gegeben durch das Lochfraß- und Repassivierungspotential) wurden systematisch durchgeführt. Einige Proben wurden bereits zu ihrer Oberflächenuntersuchung mittels REM-EDX, XPS und XRD an die Kollegen in KIT weitergeleitet.
- AP8: Vor- und Nachbereitung des 2. Projekttreffens zum Verbundvorhaben KORSO im Juli 2017 am KIT-INE, Karlsruhe.
Abstimmung der experimentellen Details zu einem zügigen Transfer der elektrochemisch untersuchten Proben zu den Kollegen am KIT für die Oberflächenanalyse.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weitere systematische Untersuchungen der Anfälligkeit von Edelstahl durch die Änderung von T: 20 – 90 °C, p: 5 – 100 bar, Q3- und Q2-Lösungen, Edelstahl und C-Stahl. Diese Untersuchungen beinhalten:

- Potentiodynamische Polarisationskurven
- Galvanostatische Experimente
- Elektrochemische Impedanz zur Untersuchung der passiven Eigenschaften

Elektrochemische Experimente werden durch Oberflächenuntersuchungen durch die Zusammenarbeit mit den Kollegen im KIT ergänzt. Dazu gehören:

- REM-EDX zur Bestimmung der Korrosionsmorphologie
- XPS zur Bestimmung der Chemie der Oberfläche: Identifizierung von Korrosionsprodukten

Eine Kooperation mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften der TU Dresden wurde zusammen mit den Kollegen vom KIT erwogen. Diese Kooperation würde interessante metallographische Untersuchungen der Proben beisteuern.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11496B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2016 bis 30.04.2019	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.748,00 EUR	Projektleiter: Dr. Finck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die chemische und mechanische Stabilität von Metallbehältern mit radioaktiven Abfällen stellt im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse einen wichtigen Aspekt dar. Für eine robuste Modellierung der Behälterkorrosion unter endlagerrelevanten Bedingungen ist ein detailliertes Verständnis der Teilprozesse des korrodierenden Materials erforderlich. Information zur Metallkorrosion für Bedingungen eines Endlagers in Steinsalz stehen nur sehr begrenzt aus der Literatur zur Verfügung. Ziel des Vorhabens ist es das Verständnis der Metallkorrosion der Abfallbehälter im salzhaltigen Milieu unter den im Nahfeld eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle herrschende T- und P- Bedingungen wesentlich zu verbessern. Mit Hilfe elektrochemischer Methoden sollen Teilreaktionen erschlossen werden, und mit Hilfe spektroskopischer und mikroskopischer Methoden die Struktur und die Zusammensetzung der Korrosionsprodukte sowie deren Oberflächen-Morphologie charakterisiert werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens ist es die Rückhaltung von Radionukliden an synthetischen, gut charakterisierten Referenz- Eisenkorrosionsprodukte mittels spektroskopischer und chemischer Methoden zu untersuchen. Ziel dieser Arbeiten ist es Unsicherheiten bezüglich der Wechselwirkung dieser Sekundärphasen mit Radionukliden und der langfristigen Prognostizierbarkeit der Auswirkungen auf die Radionuklidmobilität abzubauen. Eine Zusammenarbeit läuft mit der GRS Braunschweig.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP0: Literaturstudie
- AP1: Elektrochemische Untersuchungen
- AP2 Identifizierung von Eisenkorrosionsphasen und Sorption von Actiniden
 - AP2.2: Langzeitkorrosionsexperimente und Sorption von Actiniden
 - AP2.3: Quantenchemischen Rechnungen
- AP3: Dokumentation und Publikation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1 + AP2:

Fe(0)-Granulat wurde in reiner NaCl- oder $MgCl_2$ -Lösung bei erhöhter Temperatur (60 °C) und in geschlossenem Gefäß bis zu 18 Wochen korrodiert. Nach 2, 6, 12 und 18 Wochen wurden die Proben auf Zimmertemperatur abgekühlt und eine Probennahme fand unter Schutzgas statt. Die korrodierten Proben wurden mittels REM und XPS untersucht. Die Korrosion der Granulate an der Oberfläche wurde mittels XPS nachgewiesen. In beiden Medien wurden hexagonale Blättchen als Korrosionsprodukte gefunden, die als grüner Rost und/oder weißer Rost ($Fe(OH)_2$) identifiziert werden konnten. In NaCl-Lösungen wurde zusätzlich Magnetit als oktaedrische Kristalle beobachtet. REM und XPS Ergebnisse zeigten dass in allen Experimenten die Korrosion mit der Kontaktzeit und mit der Temperatur zugenommen hat. pH- und Eh-Messungen der Lösungen bei jeder Probennahme zeigten keine wesentlichen Veränderungen mit der Kontaktzeit: in 3 mol/L $MgCl_2$ ist der pH-Wert von 7.1 (nach 2 Wochen) auf 6.1 nach 12 Wochen gesunken, während der Eh-Wert bei ca. -40 mV unverändert blieb.

Der experimentelle Aufbau für die Langzeitkorrosionsexperimente - Autoklaven, Heizplatten, Heizblöcke, Aufhängung für Stahlcoupons - wurden fertig aufgebaut und bezüglich Dichtigkeit über längere Zeit getestet. Dafür wurden Autoklaven mit Lösung befüllt und auf 90 °C für mehrere Wochen geheizt. Coupons aus den 2 ausgewählten Werkstoffen wurden auf definierte Dimensionen zugeschnitten.

Erste Experimente zur Sorption von Actiniden/Lanthaniden an Eisenphasen haben begonnen. Die Ergebnisse zeigen dass die Rückhaltung von Eu-152 an Magnetit kinetisch sehr schnell ist.

Mit Hilfe quantenchemischer Rechnungen wurden basierend auf den optimierten Strukturen der Eisenphasen Hämatit und Goethit der Einbau von Lanthaniden (La, Gd, Lu) in diese Strukturen untersucht und die zugehörigen Reaktionsenergien bestimmt. Aufgrund sehr ähnlicher Reaktionsenergien kann man folgern, dass der Einbau der Lanthaniden in beiden Eisenphasen gleich wahrscheinlich ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1 + AP2:

Erste Langzeitkorrosionsexperimente mit Coupons in Autoklaven sollen stattfinden. Experimente zur Rückhaltung von Actiniden an Korrosionsphasen werden fortgesetzt, mit dem Einfluss der Ionenstärke als Schwerpunkt.

Als nächsten Schritt den Quantenchemischen Rechnungen planen wir die Untersuchung von Magnetit, was aufgrund der Präsenz von Fe(II) theoretisch eine große Herausforderung ist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11506
Vorhabensbezeichnung: Vorprojekt – Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2016 bis 30.04.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 68.800,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei dem geplanten Forschungsvorhaben „BenVaSim“ handelt es sich um ein internationales Simulatoren-Benchmarking-Projekt, dessen Ziel es ist, die numerisch korrekte und geotechnisch grundsätzlich aussagekräftige Funktionsweise unterschiedlicher TH²M-Simulationsprogramme nachzuweisen. Zu diesem Zweck ist die Simulation von Modellbeispielen unterschiedlichen Komplexitätsgrads mit diesen Simulatoren angedacht. Das übergeordnete Ziel ist dabei die nationale Verfügbarkeit von mehreren qualitätsgesicherten Simulatoren für die Durchführung von fluiddynamischen Analysen zum Verhalten von untertägigen Endlagersystemen im Tonstein- und Salinargebirge als Grundlage für die Erarbeitung von Langzeitsicherheitsanalysen zu Endlagerkonzepten. Das Vorhaben soll in Zusammenarbeit mit der BGR, dem schweizerischen ENSI, der GRS mit ihren Bereichen „Endlagersicherheitsforschung“ und „Strahlen- und Umweltschutz“ (→ BMUB-FKZ: 3616E03230) sowie dem US-amerikanischen LBNL stattfinden und baut vom Standpunkt des Zuwendungsempfängers aus auf dem BMWi-Forschungsvorhaben mit dem FKZ 02E11041 auf, in dessen Rahmen der FTK-Simulator entwickelt worden ist, der Gegenstand des geplanten Benchmarkings sein wird.

Insbesondere ist es das Ziel dieses Vorprojekts, vorbereitende Maßnahmen für das BenVaSim-Hauptprojekt zur Erlangung der vorstehend genannten Ziele vorzunehmen. Unter diese Maßnahmen fällt neben Recherche- und Aufbereitungsarbeiten zur Planung konkreterer Inhalte für das Hauptprojekt vornehmlich die Weiterentwicklung des vom Zuwendungsempfänger in das Benchmarking einzubringenden FTK-Simulators zur Effizienzsteigerung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aufarbeitung d. Arbeiten an der TUC zu THM-Simulationen mit dem FTK-Simulator
- AP2: Vorstellung der beteiligten Simulatoren und einschlägiger Erfahrungen der Partner
- AP3: Literaturrecherche zu Benchmarkings und TH²M-Simulatoren/offene Fragen
- AP4: Weiterentwicklung des FTK-Simulators
- AP5: Vorbereitende Maßnahmen für das Benchmarking
- AP6: Dokumentation der Arbeiten, Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum sind vom Zuwendungsempfänger TUC umfassende Recherchearbeiten zu bereits erfolgten Benchmarkings im Forschungsbereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle und zu den von den Partnerorganisationen im BenVaSim-Projekt einzusetzen beabsichtigten TH²M-Simulatoren durchgeführt worden. Organisatorische Tätigkeiten hinsichtlich eines Vortreffens der BenVaSim-Projektpartner zur Sammlung der Vorstellungen der Partner vom Benchmarking und dem gemeinsamen Ausloten der Projektziele sind ebenso erfolgt wie umfangreiche Dokumentationsarbeiten zu den Rechercheergebnissen und zu der bereits erfolgten Weiterentwicklung des FTK-Simulators im vergangenen Berichtszeitraum.

Zu bestehenden und abgeschlossenen endlagerforschungrelevanten Benchmarking-Projekten sind von der TUC Abschlussberichte und andere Veröffentlichungen ausgewertet worden (AP3). Anhand von ausgewählten Beispielen aus den langjährigen Projekten DECOVALEX und MoMaS zur Validierung von Herangehensweisen unterschiedlicher Organisationen an die physikalische Modellierung und numerische Simulation von Endlagerteilsystemen bzw. zur Verifizierung von eingesetzten Simulatoren für spezielle Teilaspekte aus diesem Forschungsbereich kann abgeleitet werden, dass eine Simulation von Modellbeispielen unter weitest möglich spezifizierten Rahmenbedingungen und minimierten Interpretationsfreiheiten für die Zielstellungen des BenVaSim-Projekts erforderlich sind. Auf dem genannten Vortreffen der BenVaSim-Projektpartner hat dieses Projektziel im Grundsatz auch einhellige Zustimmung gefunden wie auch weitere Ideen der TUC und der Projektpartner zur Ausgestaltung des Projekts, die auf dem Treffen diskutiert worden sind (AP5).

Des Weiteren sind zu Beginn des Jahres von der TUC auch bilaterale Fachgespräche mit Projektpartnern des BenVaSim-Projekts zur Vorstellung der von ihnen einzusetzen beabsichtigten Simulatoren erfolgt. Basierend auf den Fachgesprächen und auf weiterführenden Recherchearbeiten des Zuwendungsempfängers TUC konnten die von den Simulatoren unterstützten Prozesse und Prozesskopplungen weitestgehend mit ihren Gleichungen einander gegenübergestellt werden (AP2 und AP3). Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Eigenschaften der unterschiedlichen Simulatoren und die unterstützten mechanischen Stoffmodelle eine hinreichend solide Grundlage für die Zusammenstellung von Modellbeispielen und Berechnungsvariationen für das BenVaSim-Projekt darstellen. Auf der genannten Grundlage sind auch bereits Vorschläge für Berechnungsvariationen von der TUC erstellt worden (AP5). Ebenfalls konnten durch die Gegenüberstellung der Simulatoreigenschaften Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung des FTK-Simulators im Hinblick auf die Bearbeitung von auf die Simulatoren der Partner zugeschnittenen Modellbeispielen identifiziert werden (AP3).

Schließlich sind die vorstehend erläuterten Resultate in Verbindung mit den bisher gewonnenen Erfahrungen der TUC mit dem FTK-Simulator (AP1) und den erfolgten Arbeiten zur Weiterentwicklung des FTK-Simulators mit dem Abschlussbericht zu dem Forschungsvorhaben 02E11506 dokumentiert und die Weiterentwicklungsarbeiten auch im Rahmen eines TUC-internen Oberseminars präsentiert worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens 02E11506 sind abgeschlossen. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens 02E11567A (BenVaSim-Hauptprojekt) folgenden Arbeitsschritte werden auf der wissenschaftlichen Seite die Durchführung der ersten Berechnungen und die Weiterentwicklung des FTK-Simulators im Hinblick auf die in AP3 identifizierten Prozesse sowie auf der organisatorischen Seite die Veranstaltung des Kick-off-Treffens beim Projektinitiator TUC und die Vorbereitung von Vorlagen zur Sammlung der Ergebnisdaten zu den Simulationen der Stufe 1 sein.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11516
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland (KONEKD)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2016 bis 30.09.2017	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 279.025,00 EUR	Projektleiter: M. Sc. Bertrams	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, ein technisches Konzept für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente für Kristallin als Wirtsgestein in Deutschland zu entwickeln.

Zunächst soll der Stand von Wissenschaft und Technik zur Herstellung von Schächten, Rampen, Strecken und Einlagerungsbohrungen im Kristallin zusammengestellt und hinsichtlich eventuell noch notwendigem FuE-Bedarf bewertet werden.

Auf Basis generischer geologischer Daten soll ein technisches Endlagerkonzept in modellhafter Struktur und Aufbau entwickelt werden.

Weiterhin sollen die erforderlichen Zeitdauern und Kosten für Planung, Herstellung und Betrieb eines solchen Endlagers im Kristallin abgeschätzt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ermittlung der Methoden und Verfahren zur Herstellung von Tageszugängen, Großbohrlöchern und Strecken im Kristallin

AP2: Konzeptionelle Planung eines Endlagers anhand vorher ermittelter Daten und Abfallmengen

AP3: Abschätzen des Aufwandes für die Planung, Genehmigung und Realisierung eines Endlagers im Kristallin

AP4: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum lag in der umfangreichen Bearbeitung des AP2. Die Arbeiten zur thermischen Auslegungsrechnungen, der Vortriebs- und Bohrtechnik und des Verfüll- und Verschlusskonzepts wurden vollständig abgeschlossen. Insbesondere die Grubengebäudeplanung wurde vorangetrieben, die in einem engen Zusammenhang zu den drei Einlagerungskonzepten modifiziertes KBS3-Konzept, multipler ewG und ewG als Teil einer sedimentären Überdeckung steht. Da die Grubengebäudeplanung weiterhin ganz wesentlich auf dem Erstellen von Querschnitten für die einzelnen Grubenbaue (v. a. Schächte, Rampen, Strecken) basiert, mussten Transportkonzepte für die vertikale Bohrlochlagerung von mit Kupfer ummantelten Kokillen und für POLLUX®- Behälter entwickelt bzw. mit Blick auf die Besonderheiten des Endlagers in Kristallin adaptiert werden. Der notwendige Platzbedarf der Transporttechnik bestimmt, neben dem von bergtechnisch notwendigen Einrichtungen (z. B. Lutten für die Wettertechnik), die Querschnittsfläche der Grubenräume und damit auch das notwendige Hohlraumvolumen. Zur Zusammenstellung eines vollständigen Grubengebäudes wurden erste generische Layout-Varianten erstellt. In die Arbeiten fließen ebenfalls die durchgeführten thermischen Auslegungsrechnungen für die Einlagerung von POLLUX®- Behältern in Kristallingestein ein. Entsprechende thermische Ergebnisse für vertikale Bohrlochlagerung liegen bereits vor /DBETEC 2016.

Verfüll- und Verschlusskonzepte wurden unter Berücksichtigung des internationalen Stands von Wissenschaft und Technik für ein Endlager in Kristallin für die Einlagerungsvarianten in KONEKD diskutiert.

Für das Vorgehen der Schätzung des Aufwands wurde ein Top-Down Ansatz gewählt, da ein Bottom-Up Ansatz mit zu vielen Unsicherheiten behaftet wäre.

Mit der Dokumentation der Ergebnisse in einem Abschlussbericht wurde begonnen.

DBETEC 2016 DBE TECHNOLOGY GmbH, Gutachten für die Endlagerkommission. Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle, September 2016

4. Geplante Weiterarbeiten

Im abschließenden Berichtszeitraum wird der Schwerpunkt der Arbeiten auf dem Abschluss der Grubengebäudeplanung liegen. Auf dieser Basis können auch Fragen der Bewetterung, des Strahlenschutzes und der Aufwandsschätzung abschließend bewertet werden.

Die Dokumentation der Ergebnisse im Abschlussbericht erfolgt im Zuge der Fertigstellung der einzelnen Aufgaben parallel zu den weiteren Arbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

N. Bertrams: Repository Concepts and Emplacement Technology; 3rd Sino-German Workshop on Radioactive Waste Disposal; 16.-19. May 2017, Dunhuang, China

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11526A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2016 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 56.642,50 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kudla	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben CREATIEF soll die Chancen und Risiken der Option Endlagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe in Tiefen Bohrlöchern (3000 m bis 5000 m) in technischer und sicherheitstechnischer Hinsicht vertieft untersuchen. Dabei sollen insbesondere die bisher getroffenen Annahmen und Randbedingungen in aktuellen Studien und Forschungsvorhaben im Ausland und Inland analysiert und bewertet werden. Mögliche Defizite sollen identifiziert werden. Dabei soll vor allem untersucht werden, in wieweit die aktuellen Studien im Sinne einer soliden technisch-wissenschaftlichen Prüfung zur Bewertung der technischen und insbesondere sicherheitstechnischen Machbarkeit belastbar sind. Für identifizierte mögliche Schwachstellen bei den Annahmen und Randbedingungen sowie im technischen Konzept sollen - soweit möglich - Verbesserungen und Lösungsansätze entwickelt werden. Dazu soll eine SWOT-Analyse angefertigt werden.

Das Vorhaben CREATIEF hat Bezug zum FuE-Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik und zum FuE-Bereich 4: Sicherheitsnachweis.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse der in der nationalen und internationalen Literatur getroffenen Annahmen und Randbedingungen
- AP2: Analyse und Bewertung der Eckpunkte bei der "Tiefen Bohrlochlagerung"
- AP3: Gesamtbewertung von Chancen und Risiken
- AP4: Dokumentation und Abschlussbericht

Die TU Bergakademie Freiberg ist federführend für AP1. Bei AP2 bis AP4 ist DBE TECHNOLOGY federführend.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Bearbeitung der Analyse der in der nationalen und internationalen Literatur getroffenen Annahmen und Randbedingungen. Bewertungen der Information hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland.
- AP2: Bearbeitung einiger Eckpunkte des Arbeitsprogrammes wie: Erkundungsverfahren bis 5000 m Tiefe, „Aussagegenauigkeit“ zu den geologischen Verhältnissen, Bohrtechnik bis 5000 m Tiefe für die Einlagerungsbohrungen, Einbau dichter Verrohrungen mit größeren Durchmessern für Endlagergebäude, Einlagerung in einem Stützfluid, Rückholung und Bergung der Endlagergebäude.
- AP3: Federführende durch DBE TECHNOLOGY bearbeitet.
- AP4: Noch keine Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Abschluss der Analyse der in der nationalen und internationalen Literatur getroffenen Annahmen und Randbedingungen. Bewertungen der Information hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland.
- AP2: Weiterführende Bearbeitung bereits betrachteter Eckpunkte sowie Bearbeitung der noch nicht betrachteten Eckpunkte des Arbeitsprogrammes wie: Verfüllen und Verschließen von Einlagerungsbohrlöchern, Rückbau von Verrohrungen für den Einbau der Verschlüsse. Abschluss der Arbeiten im AP2.
- AP3: Planmäßige Arbeiten im 3. Quartal 2017.
- AP4: Planmäßige Arbeiten ab Januar 2018.
Geplant sind zwei Vorträge:
8th U.S./German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation
(5.-7. September 2017 in Middelburg, Niederlande)
International Symposium on Deep Geologic Disposal
(19. September 2017 in Kiew, Ukraine)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11526B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2016 bis 28.02.2018	Berichtszeitraum: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 100.091,50 EUR	Projektleiter: Bollingerfehr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben CREATIEF soll die Chancen und Risiken der Option Endlagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe in Tiefen Bohrlöchern (3000 m bis 5000 m) in technischer und sicherheitstechnischer Hinsicht vertieft untersuchen. Dabei sollen insbesondere die bisher getroffenen Annahmen und Randbedingungen in aktuellen Studien und Forschungsvorhaben im Ausland und Inland analysiert und bewertet werden. Mögliche Defizite sollen identifiziert werden. Dabei soll vor allem untersucht werden, in wieweit die aktuellen Studien im Sinne einer soliden technisch-wissenschaftlichen Prüfung zur Bewertung der technischen und insbesondere sicherheitstechnischen Machbarkeit belastbar sind. Für identifizierte mögliche Schwachstellen bei den Annahmen und Randbedingungen sowie im technischen Konzept sollen - soweit möglich - Verbesserungen und Lösungsansätze entwickelt werden. Dazu soll eine SWOT-Analyse angefertigt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse der in der nationalen und internationalen Literatur getroffenen Annahmen und Randbedingungen
- AP2: Analyse und Bewertung der Eckpunkte der Option "Tiefe Bohrlochlagerung"
- AP3: Gesamtbewertung von Chancen und Risiken
- AP4: Dokumentation und Abschlussbericht

Die TU Bergakademie Freiberg ist federführend für AP1. Die DBE TECHNOLOGY GmbH ist federführend zuständig für AP2, 3 und 4.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Bearbeitung seitens DBE TECHNOLOGY konzentrierte sich im Berichtszeitraum auf die Recherche zum Stand der Technik zur Einlagerung und Rückholung von Endlagerbehältern in sehr tiefe Bohrlöcher. Dabei wurde gezeigt, dass es dazu weltweit kein erprobtes Verfahren gibt und aus der Bohrtechnik möglich erscheinende Förderverfahren nicht den Anforderungen aus dem Strahlenschutz genügen. Darüber hinaus wurden Überlegungen zur Dimensionierung eines adäquaten Endlagerbehälters angestellt. Die Untersuchungen zeigten, dass die Dimension des Endlagergebindes maßgeblich durch den Stand der Technik in der Bohrtechnik bei einer Endteufe von 5000 m bestimmt wird. Theoretisch sind Durchmesser von 17 Zoll möglich, vorausgesetzt, das geologische Profil lässt eine entsprechende Rohrtour zu. Entsprechende geologische Profile wurden erstellt und dem Partner für die Planung übergeben.

Weiterhin wurden Grundzügen eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes entworfen. Ein sicherer Einschluss durch das Wirtsgestein, so wie es in einem Endlagerbergwerk möglich ist, kann in einem sehr tiefen Bohrloch bis 5000 m nur gelingen, wenn ein qualitätsgesichertes Verfüll- und Verschlusskonzept für eine solche Bohrung entwickelt werden kann.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im kommenden Berichtszeitraum wird der Schwerpunkt für DBE TECHNOLOGY GmbH auf dem Abschluss der Arbeiten zur Analyse und Bewertung der Eckpunkte bei der "Tiefen Bohrlochlagerung" (AP2) und der SWOT-Analyse (AP3) zusammen mit TU Bergakademie Freiberg liegen.

Dazu gehören im AP2 insbesondere die Aufgaben Einlagerung in einem Stützfluid, Rückholung und Bergung der Endlagergebände, Einlagerungs- und Rückholungstechnik, Betriebssicherheit und Havariebewältigung.

Im AP3 wird der Schwerpunkt eine SWOT-Analyse sein, um die Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Risiken dieser Endlagerungsidee herauszuarbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V., Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 11547A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 448.984,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Kallenbach-Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Erfassung, Beschreibung und Bewertung der Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technik und Sozialem. Dazu wird ein differenziertes, systematisiertes Verständnis sozio-technischer Zusammenhänge und Herausforderungen entwickelt und fortgeschrieben. Im Ergebnis werden wissenschaftliche Konzepte für die Analyse sowie Handlungsempfehlungen für die Politik zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen in Governance- und Management-Strukturen entwickelt. Die Arbeitspakete 1 und 5 werden gemeinsam von ITAS, Öko-Institut und FFU bearbeitet. Alle Arbeitspakete haben Querverbindungen mit interdisziplinären Schnittstellen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen
(zusammen mit ITAS und FFU)
- AP3: Reversibilität in Entscheidungsprozessen
- AP3.1: Bestehende Konzepte für und Erfahrungen mit reversiblen Prozessen
- AP3.2: Partizipative Verfahren im Kontext reversibler Entscheidungsprozesse
- AP3.3: Entwicklung von Handlungsempfehlungen
- AP5: Robuste Governance-Strukturen, Kohärenz und Institutionalisierung von Langzeitprozessen (zusammen mit ITAS und FFU)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Ein Ziel des Arbeitspakets ist, den aktuellen Stand der Forschung und der (international) diskutierten Konzepte zu den sozio-technischen Herausforderungen der Entsorgung der radioaktiven Abfälle zu sondieren und zusammenzustellen. Für die Literaturauswertung wurde ein gemeinsames Analyseraster erstellt, getestet und abgestimmt, das den Projektpartnern als Grundlage für eine arbeitsteilig durchzuführende Auswertung projektrelevanter Literatur dient, um aus dieser die sozio-technischen Dimensionen zu exzerpieren. Mit der Zusammenstellung, Sichtung und Analyse der Literatur wurde begonnen.

Beim Kick-off-Meeting der Verbundpartner am Öko-Institut in Darmstadt (11.05.2017) wurden die organisatorischen Details und Formen der Kooperation besprochen. Im Rahmen des zweiten Projektgesprächs am ITAS/KIT in Karlsruhe (28.06.2017) erfolgte u. a. die Feinjustierung des Literatur-Analyserasters für AP1 sowie eine inhaltliche Diskussion der ersten Exzerpte, die darauf aufbauend erstellt wurden.

Außerdem wurde von den Projektpartnern aus der Vorhabenbeschreibung ein Flyer extrahiert, der der Außenkommunikation dient.

4. Geplante Weiterarbeiten

In den nächsten sechs Monaten sind folgende Aktivitäten geplant:

AP1: Literaturanalyse zu dem Themenkomplex „Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen“

Interviews Verständnis sozio-technischer Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

Vorbereitung des nationalen Workshops zum AP1 (Durchführung 02.2018)

AP3.1: Identifizierung einschlägiger Konzepte und Erfahrungen mit reversiblen Prozessen aus verschiedenen Branchen und Ländern

Vortrag ENTRIA-Abschlusskonferenz: “The Self Reflecting Process – a New Challenge (?)”

Veröffentlichung: Öko-Institut, ITAS, FFU: eine Veröffentlichung „Begründung der Vorgehensweise zur Analyse sozio-technischer Wechselwirkungen“ (Arbeitstitel); in: Achim Brunnengräber, Maria Rosaria Di Nucci (Eds.). *Governing Nuclear Waste: Conflicts, Participation and Acceptability*. Vol. III, to appear in Springer VS (2017); ein Artikel für GAIA (Research Paper, angefragt)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11547B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 399.013,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kuppler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Erfassung, Beschreibung und Bewertung der Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technik und Sozialem. Dazu wird ein differenziertes, systematisiertes Verständnis der jeweiligen Zusammenhänge und Herausforderungen entwickelt und fortgeschrieben. Im Ergebnis werden wissenschaftliche Konzepte für die Analyse sowie Handlungsempfehlungen für die Politik zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen in Governance- und Management-Strukturen entwickelt. Die Arbeitspakete 1 und 5 werden gemeinsam von ITAS, Öko-Institut und FFU bearbeitet. Alle Arbeitspakete haben Querverbindungen mit interdisziplinären Schnittstellen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen (zusammen mit FFU und Öko-Institut)
- AP4: Planungs- und Langzeitprozesse
 - AP4.1: Konzepte für und Erfahrungen mit Langzeit-Monitoring und Governance
 - AP4.2: Management und Langzeitplanung als Sicherheitskultur
 - AP4.3: Entwicklung von (Handlungs-) Empfehlungen
- AP5: Robuste Governance-Strukturen, Kohärenz und Institutionalisierung von Langzeitprozessen (zusammen mit FFU und Öko-Institut)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Ein Ziel des Arbeitspakets ist, den aktuellen Stand der Forschung und der (international) diskutierten Konzepte zu den sozio-technischen Herausforderungen der Entsorgung der hoch radioaktiven Abfälle zu sondieren und zusammenzustellen. Für die Literaturlauswertung wurde ein gemeinsames Analyseraster erstellt, getestet und abgestimmt, das den Projektpartnern als Grundlage für eine arbeitsteilig durchzuführende Auswertung projektrelevanter Literatur dient, um aus dieser die sozio-technischen Dimensionen zu exzerpieren. Mit der Zusammenstellung, Sichtung und Analyse der Literatur wurde begonnen.

Beim Kick-off Workshop der Verbundpartner am Öko-Institut in Darmstadt (11.05.2017) wurden die organisatorischen Details und Formen der Kooperation besprochen. Im Rahmen des Workshops am ITAS/KIT in Karlsruhe (28.06.2017) erfolgte u. a. die Feinjustierung des Literatur-Analyserasters für AP1 sowie eine inhaltliche Diskussion der ersten Exzerpte, die darauf aufbauend erstellt wurden.

Außerdem wurde von den Projektpartnern aus der Vorhabenbeschreibung ein Flyer extrahiert, der der Außenkommunikation dient.

4. Geplante Weiterarbeiten

In den nächsten sechs Monaten sind folgende Aktivitäten geplant:

AP1: Literaturlauswertung zu dem Themenkomplex „Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen“

Interviews zum Verständnis sozio-technischer Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

Vorbereitung des nationalen Workshops zum AP1 (Durchführung 02.2018)

Fertigstellung eines Konzeptpapiers: STS-Diskussion zu sozio-technischen Systemen

AP2: 31.8. – 1.09.2017: 21st REFORM Group Meeting – Mitarbeit bei der Durchführung der Session „Governing Nuclear Waste“ (mit FFU)

AP4: Fertigstellung des Analysekonzepts

Literaturlauswertung zu Langzeit-Monitoring und Governance

Öko-Institut, ITAS, FFU: 1 Veröffentlichung „Begründung der Vorgehensweise zur Analyse sozio-technischer Wechselwirkungen“ (Arbeitstitel); in: Achim Brunnengraber, Maria Rosaria Di Nucci (Eds.). Governing Nuclear Waste: Conflicts, Participation and Acceptability. Vol. III, to appear in Springer VS (2017); 1 Artikel für GAIA (Research Paper, angefragt)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Freie Universität Berlin, Kaiserwerther Str. 16-18, 14195 Berlin		Förderkennzeichen: 02 E 11547C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.04.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 383.625,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brunnengräber	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Erfassung, Beschreibung und Bewertung der Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technik und Sozialem. Dazu wird ein differenziertes, systematisiertes Verständnis der jeweiligen Zusammenhänge und Herausforderungen entwickelt und fortgeschrieben. Im Ergebnis werden wissenschaftliche Konzepte für die Analyse sowie Handlungsempfehlungen für die Politik zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen in Governance- und Management-Strukturen entwickelt. Die Arbeitspakete 1 und 5 werden gemeinsam von ITAS, Öko-Institut und FFU bearbeitet. Alle Arbeitspakete haben Querverbindungen mit interdisziplinären Schnittstellen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen (zusammen mit ITAS und Öko-Institut)
- AP2: Regulierung und Interdependenzen
 - AP2.1: Interdependenzen zwischen Regulierung und Pfadabhängigkeiten
 - AP2.2: Formelle und informelle Beziehungen bei der Regulierung
 - AP2.3: Struktur und Wirksamkeit von Institutionen
- AP5: Robuste Governance-Strukturen, Kohärenz und Institutionalisierung von Langzeitprozessen (zusammen mit ITAS und Öko-Institut)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Ein Ziel des Arbeitspakets ist, den aktuellen Stand der Forschung und der (international) diskutierten Konzepte zu den sozio-technischen Herausforderungen der Entsorgung der hoch radioaktiven Abfälle zu sondieren und zusammenzustellen. Für die Literaturlauswertung wurde ein gemeinsames Analyseraster erstellt, getestet und abgestimmt, das den Projektpartnern als Grundlage für eine arbeitsteilig durchzuführende Auswertung projektrelevanter Literatur dient, um aus dieser die sozio-technischen Dimensionen zu exzerpieren. Mit der Zusammenstellung, Sichtung und Analyse der Literatur wurde begonnen.

Beim Kick-off Workshop der Verbundpartner am Öko-Institut in Darmstadt (11.05.2017) wurden die organisatorischen Details und Formen der Kooperation besprochen. Im Rahmen des Workshops am ITAS/KIT in Karlsruhe (28.06.2017) erfolgte u. a. die Feinjustierung des Literatur-Analyserasters für AP1 sowie eine inhaltliche Diskussion der ersten Exzerpte, die darauf aufbauend erstellt wurden.

Außerdem wurde von den Projektpartnern aus der Vorhabenbeschreibung ein Flyer extrahiert, der der Außenkommunikation dient.

4. Geplante Weiterarbeiten

In den nächsten sechs Monaten sind folgende Aktivitäten geplant:

AP1: Literaturlauswertung zu dem Themenkomplex „Spezifizierung der sozio-technischen Herausforderungen“

Interviews zum Verständnis sozio-technischer Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

Vorbereitung des nationalen Workshops zum AP1 (Durchführung 02.2018).

AP2: 31.8. – 1.09.2017: 21st REFORM Group Meeting – Session „Governing Nuclear Waste“

AP2.1: Fertigstellung eines Konzeptpapiers: Untersuchung der Interdependenzen zwischen Regulierung, Pfadabhängigkeiten und politischen Veränderungen

AP2.1: Literaturlauswertung und Überprüfung, ob aus Projekten mit sozio-technischem Charakter oder Bezug wie Fracking, Windenergie, Stromtrassen und ggf. weiteren Vorhaben übertragbare Erkenntnisse (social analogues) für die Frage der Entsorgung radioaktiver Abfälle vorliegen

Öko-Institut, ITAS, FFU: 1 Veröffentlichung „Begründung der Vorgehensweise zur Analyse sozio-technischer Wechselwirkungen“ (Arbeitstitel); in: Achim Brunnengräber, Maria Rosaria Di Nucci (Eds.). *Governing Nuclear Waste: Conflicts, Participation and Acceptability*. Vol. III, to appear in Springer VS (2017); 1 Artikel für GAIA (Research Paper, angefragt)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Budelmann, H.; Di Nucci, M. R., Isidoro Losada, A. M., Köhnke, D., Reichardt, M. (2017): Auf dem Weg in die Endlagerung. Die Notwendigkeit der langfristigen Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle, in: *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, Volume 26 (2), 2017, S. 110-113(4)

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg	Förderkennzeichen: 02 E 11557
Vorhabensbezeichnung: Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.2 + 3.3	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2017 bis 31.03.2019	Berichtszeitraum: 01.05.2017 bis 30.06.2017
Gesamtkosten des Vorhabens: 919.894,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Mischo

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im vorangegangenen Forschungsprojekt GESAV I wurde eine Rezeptur für einen gefügestabilisierten Salzgrusversatz entwickelt, mit dem nach dem Einbau ein praktisch 100 %-iger Verfüllungsgrad erreicht werden kann. Aufgrund der Gefügestabilisierung wird eine ausreichend hohe Stützwirkung des Versatzes erreicht, sodass nachfolgende Auflockerungen (Rissbildungen) im umliegenden Gebirge ausgeschlossen werden können. Die Anfangspermeabilität des Versatzmaterials liegt bei $< 10^{-11} \text{ m}^2$. Die Parameter Verformungswiderstand und Permeabilität verbessern sich mit zunehmender Gebirgskonvergenz. Die Rezeptur des entwickelten Versatzmaterials wurde unter der Patentnummer DE 10 2015 005 288 patentiert.

Das FuE-Projekt GESAV II verfolgt das Ziel, eine optimale Einbautechnologie für die patentierte Rezeptur zu entwickeln. Zum Einbringen von Salzgrusversatz im Endlagerbergbau kommen mechanischer (Schleuder-) und pneumatischer (Blas-) Versatz infrage. Mit beiden Verfahren wird nach dem Stand der Technik je ein Referenzversatzkörper in der Grube Sondershausen der GSES mbH erstellt. Aufbauend auf den Ergebnissen von In-situ-Messungen an den Versatzkörpern und Laboruntersuchungen von entnommenen Probekörpern werden die Verfahren optimiert. Wesentliche Optimierungsparameter sind die Einbaudichte und die Reduzierung technologiebedingter Einflüsse auf das. Mit optimierten Versatzverfahren wird jeweils ein weiterer Versatzkörper erstellt. Aus der vergleichenden Untersuchung der Versatzkörper wird eine Vorzugsvariante zum Einbauverfahren benannt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP7: Pilotversuche zum Einbau
- AP8: Labor- und messtechnische Überwachung der Versatzkörper
- AP9: Nachuntersuchungen des Versatzkörpers
- AP10: Abschlussbericht zum Gesamtvorhaben

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP7: Es wurde in Zusammenarbeit mit der GSES mbH ein Konzept für das Anmischen des Versatzmaterials im Pilotmaßstab skizziert. Das Anmischkonzept wird im Labor weiter untersucht. Der Zeitplan wurde mit der GSES mbH so abgestimmt, dass der Versuch zum konventionellen Schleuderversatzverfahren im 4. Quartal 2017 beginnen kann.

Die Versuchsorte und deren infrastrukturelle Anbindung wurden in zusammen mit GSES mbH identifiziert und geplant.

Es wurde ein Versuchsstand zur Optimierung der Blasversatztechnologie im Versatzlabor der TU Bergakademie Freiberg gebaut und erste Kalibrierungsversuche durchgeführt.

AP8: Die Konzepte zur messtechnischen Überwachung der Versatzkörper wurden in Zusammenarbeit mit den Messgeräteherstellern untersetzt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP7: Erstellung eines unteretzten Versuchsplanes in Zusammenarbeit mit GSES mbH und IfG GmbH. Voraussichtlicher Beginn des Versuchs zur konventionellen Schleudertechnologie im 4. Quartal 2017.

Weiterkonstruktion der Maschine zur optimierten Schleuderversatztechnologie.

AP8: Festlegung der endgültigen In-situ-Messanordnung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolf-Römer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11567A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1 + 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2017 bis 31.07.2020	Berichtszeitraum: 01.05.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 517.360,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei dem Forschungsvorhaben „BenVaSim“ handelt es sich um ein internationales Simulatoren-Benchmarking-Projekt, dessen Ziel es ist, die numerisch korrekte und geotechnisch grundsätzlich aussagekräftige Funktionsweise unterschiedlicher TH²M-Simulationsprogramme zu analysieren. Zu diesem Zweck ist die Simulation von Modellbeispielen unterschiedlichen Komplexitätsgrads mit diesen Simulatoren angedacht. Das übergeordnete Ziel ist dabei die nationale Verfügbarkeit von mehreren qualitätsgesicherten Simulatoren für die Durchführung von fluiddynamischen Analysen zum Verhalten von untertägigen Endlagersystemen im Tonstein- und Salinargebirge als Grundlage für die Erarbeitung von Langzeitsicherheitsanalysen zu Endlagerkonzepten. Das Vorhaben soll in Zusammenarbeit mit der BGR, dem schweizerischen ENSI, der GRS mit ihren Bereichen „Endlagersicherheitsforschung“ (→ BMWi-FKZ: 02E11567B, Verbundprojekt mit TUC) und „Strahlen- und Umweltschutz“ (→ BMUB-FKZ: 3616E03230) sowie dem US-amerikanischen LBNL stattfinden und baut vom Standpunkt des Zuwendungsempfängers TUC aus auf dem BMWi-Forschungsvorhaben mit dem FKZ 02E11041 auf, in dessen Rahmen der FTK-Simulator entwickelt worden ist, der vonseiten der TUC Gegenstand des geplanten Benchmarkings sein wird. Weiterentwicklungen des FTK-Simulators sind ebenfalls im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorgesehen, um eine für die Zielstellung des Benchmarkings erforderliche Vergleichbarkeit der mit den Simulatoren zu generierenden Ergebnisse mit Blick auf relevante, aber bis dato noch nicht vom FTK-Simulator unterstützte Prozesse für Endlagermodelle zu gewährleisten. Vorbereitende Maßnahmen für das Benchmarking sind im Rahmen eines Vorprojekts mit dem BMWi-FKZ 02E11506 erfolgt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1: Organisation und Durchführung von Fachtreffen, grundsätzliche Koordination,
- AP1.2: Abstimmung der Berechnungsmodelle, Variationen und Parameter,
- AP1.3: Weiterentwicklung des FTK-Simulators inkl. Durchführung von Testsimulationen,
- AP1.4: Aufbau der Berechnungsmodelle für die Modellbeispiele aus AP1.2,
- AP1.5: Durchführung der FTK-Simulationen und Auswertung der Ergebnisse,
- AP1.6: Gegenüberstellung der FTK-Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der Partner,
- AP1.7: Vorstellung und Diskussion der Arbeiten im nationalen & internationalen Rahmen,
- AP1.8: Dokumentation der Arbeiten, Generalisierung der Befunde, Abschlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum ist vom Zuwendungsempfänger und Projektkoordinator TUC das Kick-off-Treffen im Hause organisiert worden. Im Anschluss sind Vorbereitungen zur Durchführung und zur Auswertung der ersten Berechnungsvariationen der Projektstufe 1 (1D-Modelle) für die Partnerorganisationen und für die TUC vorgenommen worden. Im Rahmen der Durchführung erster Berechnungen für das BenVaSim-Projekt sind an der TUC erste Programmierungen am FTK-Simulator erfolgt. Neben der Veranstaltung des Kick-off-Treffens sind zudem weitere organisatorische Maßnahmen erforderlich gewesen.

Auf dem an der TUC organisierten und durchgeführten Kick-off-Treffen (AP1.1) sind vom Koordinator Vorschläge für Modellbeispiele und Berechnungsvariationen zur Stufe 1 auf der Grundlage von Arbeiten aus dem vorangegangenen BenVaSim-Vorprojekt zur Diskussion erbracht worden. Die Partner konnten sich dabei auf erste Modelle und Variationen einigen, die von der TUC im Anschluss präziser zu formulieren und auszugestalten sind (AP1.2). Eine derartige Formulierung der Rahmenbedingungen inklusive einer Zusammenstellung der zugehörigen Differenzialgleichungen und analytischen Lösungen ist von der TUC für alle Berechnungsvariationen zum ersten Modell der Stufe 1 auch erfolgt. Ebenfalls ist an einer Tabellenkalkulationsvorlage in MS Excel zur Sammlung der Berechnungsergebnisse der Partnerorganisationen zu diesen Variationen gearbeitet worden.

Bei der Durchführung erster Berechnungen zum ersten Modellbeispiel aus Stufe 1 an der TUC (AP1.4 und AP1.5) hat sich herausgestellt, dass die getroffene Wahl für den Elastizitätsmodul aus numerischen Gründen ungeeignet für den FTK-Simulator ist. Mit programmiertechnischen Modifikationen (AP1.3) konnte die numerische Divergenz des Lösungsverfahrens dabei nicht umgangen werden. Im Nachgang ist daher eine Adaption der Berechnungsvariationen vorzunehmen, um eine alle beteiligten Simulatoren einschließende Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse zu gewährleisten.

Weitere organisatorische Maßnahmen, die im Berichtszeitraum erfolgt sind, sind neben der Vorbereitung des Kick-off-Treffens und dem damit verbundenen Test einer Videokonferenzschaltung zwischen TUC und LBNL die Einrichtung einer Cloudstruktur an der TUC zum vereinfachten Datenaustausch zwischen den BenVaSim-Projektpartnern, die gemeinschaftliche Ausarbeitung einer Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen den Verbundpartnern TUC und GRS sowie die Gestaltung von Vorschlägen für ein Projektlogo (AP1.1).

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Vorschläge für alle weiteren Beispielmodelle der Stufe 1 sind gemäß der Absprache aus dem Kick-off-Treffen auszuformulieren und zusammen mit analytischen Lösungen und Tabellenkalkulationsvorlagen an die Projektpartner zu verteilen. Ebenso sind bereits konkretisierte Rahmenbedingungen zu Modellbeispielen aus Stufe 2 (2D-Modelle) zusammenzustellen (AP1.1 und AP1.2). Im Hinblick auf die Weiterentwicklung des FTK-Simulators steht an erster Stelle die Realisierung der Simulation anisotroper thermischer und hydraulischer Strömungsprozesse (AP1.3), die für die Bearbeitung von Stufe 2 erforderlich sein wird.

Parallel zu den konkreten Arbeiten zu den Stufen 1 und 2 sind generell FTK-Simulationen zu den Modellbeispielen durchzuführen (AP1.5) sowie koordinative Arbeiten zu erledigen (AP1.1 und AP1.6).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11567B	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2017 bis 30.04.2020		Berichtszeitraum: 01.05.2017 bis 30.06.2017	
Gesamtkosten des Vorhabens: 529.075,00 EUR		Projektleiter: Dr. Czaikowski	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben (BenVaSim) hat zum Ziel qualitätsgesicherte, d. h. in ihrer Funktionalität verifizierter und in ihrer Aussagekraft validierter Simulationswerkzeuge für eine zuverlässige Prognose des Endlagersystemverhaltens insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse im Ton- wie auch im Salinargestein bereitzustellen. Die dabei erzielte Verbesserung der Prognosezuverlässigkeit soll dazu beitragen, das Vertrauen in die Aussagen zum Endlagerverhalten zu stärken.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Organisation und Koordination
- AP2: Vorstellung der beteiligten Simulatoren
Dieses Arbeitspaket zielt auf die Zusammenstellung von simulierbaren Prozesse und Phänomene der eingesetzten Simulatoren und der bisher gewonnenen Erfahrungen zum Zweck der Gegenüberstellung von modelltheoretischen Möglichkeiten. Die GRS wird sich hier mit ihren langjährigen Erfahrungen im Umgang mit dem Simulator CODE_BRIGHT beteiligen.
- AP3: Ausarbeitung von generischen Modellen und Festlegung von Parametersätzen
Mit Blick auf die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse zielt dieses Arbeitspaket auf die Ausarbeitung von gemeinsamen Modellen und die Einigung auf gängige physikalische Beziehungen.
- AP4: Durchführung und Auswertung von Modellberechnungen
Dieses Arbeitspaket zielt auf die Durchführung von Modellrechnungen mit den in AP3 festgelegten Stoffmodellen und Materialkennwerten.
- AP5: Gegenüberstellung und Diskussion der Ergebnisse
Dieses Arbeitspaket zielt auf die Erarbeitung von für den Ergebnisvergleich heranzuziehenden Auswertungsgrößen, die die räumliche und zeitliche Entwicklung an ausgewählten Modellpositionen darstellen.
- AP6: Dokumentation, Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse im internationalen Rahmen
Die eigenen Untersuchungsergebnisse werden in einem GRS Bericht dokumentiert. Die daraus entstandenen neuen Erkenntnisse werden in internationalen Fachzeitschriften mit Peer-review veröffentlicht und auf nationalen und internationalen Fachtagungen vorgestellt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 16. und 17. Mai 2017 fand in Clausthal das Kick-off Meeting statt, bei dem das Bearbeitungsprogramm durch den Fachkoordinator vorgestellt und von den Projektpartnern diskutiert wurde. In diesem Zusammenhang wurde von den Projektpartnern auch der Entwurf für eine Zusammenarbeitsvereinbarung diskutiert.

Es wurden die ersten Rechenfälle mit ihren Randbedingungen vorgeschlagen und vereinbart. Die Daten werden allen beteiligten Arbeitsgruppen auf einem zentralen Server zur Verfügung gestellt. Das nächste Fachtreffen soll am Rande der diesjährigen Clay Conference (Davos) beim ENSI stattfinden. Dort sollen dann schon erste Berechnungsergebnisse vorgestellt und diskutiert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Ausarbeitung von generischen Modellen und Festlegung von Parametersätzen
- Durchführung und Auswertung von Modellberechnungen
- Gegenüberstellung und Diskussion der Ergebnisse
- Dokumentation

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: 01.01.2017 bis 30.06.2017	
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 dienen 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):* Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung eines DFÜ-Feldtests in Leistungsreaktoren; *c) Safeguardsanalytik:* Promotionsprojekt zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Qualifizierung Jülichs für das Netzwerk der IAEO-Analyselaboratorien (NWAL); *d) Satellitenfernerkundung:* Projekt zum Einsatz von Fernerkundung seitens der IAEO; *e) Geoinformationstechnologien:* Entwicklung eines webbasierten Systems zur Erstellung digitaler Anlagenpläne; *f)*

Inspektionsplanung und -bewertung: Projekt zur Verbesserung der Kernmaterialüberwachung unter Einbezug neuer Methoden aus Statistik und Spieltheorie.

- Safeguards für Nuklearanlagen: a) *Geologische Endlagerung*: Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte und Auswirkungen der Rückholungs- und Bergungsoption auf Safeguardsmaßnahmen in verschiedenen Wirtsgesteinen; Mitarbeit in der Expertengruppe ASTOR; Konzeptstudie 3S (Safety-Security-Safeguards) bezgl. Entsorgung; b) *Zusatzprotokoll und Implementierung von Integrated Safeguards (IS)*: Unterstützung und Beratung von Betreibern, Unterstützung des BMWi bei Anfragen von IAEA und Euratom; c) *IAEO-Inspektionsberichte*: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Auskünfte zu Anfragen des BMWi.
- Unterstützung des staatspezifischen Kontrollkonzeptes (SLC): Akquisitionspfadanalyse (APA).
- Kooperation mit der DGAP: Expertensitzung bei der DGAP am 23.05.2017 zum Thema „International Security and the Future of Nuclear Weapons“
- Pflege des nationalen Safeguards-Internetportals „safeguards.de“
- ESARDA: Präsidentschaft, Steering Committee, Executive Board, Mitarbeit in vier AGs, Vorbereitung und Durchführung des ESARDA Symposiums Jülich/Düsseldorf, 15.-18.05.2017.
- Weitere Aktivitäten: a) *SMÜ/AKÜ-Safeguardskreis und VGB-Arbeitskreis*: Mitarbeit; b) *INMM*: Mitarbeit International Safeguards Division; JNMM Associated Editors; c) *SAGSI*: Mitarbeit

4. Geplante Weiterarbeiten

- Einschluss und Überwachung: Anforderungen in der Entsorgung von Brennelementen.
- Datenfernübertragung: Unterstützung bei der Implementierung der DFÜ in Reaktoren.
- Safeguardsanalytik: Abschluss des Promotionsprojekts zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Fortsetzung der NWAL-Qualifizierung Jülichs.
- Satellitenfernerkundung: Machbarkeitsstudie bezgl. satellitengestützter Videodaten.
- Geoinformationstechnologien: Weiterentwicklung zur Erstellung GIS-fähiger Anlagenpläne.
- Inspektionsplanung und -bewertung: Wissenschaftliche Beiträge, Training bei der IAEA.
- Novel Technologies: Fortsetzung der Arbeiten zu Navigations- und Positionierungstechniken.
- Safeguards-Konzepte: Weiterentwicklung von SLC, APA, Safeguards-by-design (SBD) und 3S.
- Endlagerung: Fortsetzung der Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte.
- Unterstützung des BMWi bei Umsetzung des Zusatzprotokolls und Bewertung von IS und SLC.
- IAEA-Inspektionsberichte: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Beratung des BMWi.
- 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

Tagungsband ESARDA Symposium 2017, Düsseldorf, 15.-18.05.2017:

- A. Knott et al.: Uranium Microparticle Production - Support of IAEA's Analytical Capabilities
 R. Middendorp et al.: Micro Particle Suspensions for Preparation of Reference Materials for Particle Analysis Methods in Safeguards
 T. Köble et al.: Comparative Testing of the MCA-527 and MCA-166 Mini Multi Channel Analyzers
 K. Aymanns et al.: Sealing Systems for Casks in Spent Fuel Storage Facilities
 E. Agboraw et al.: Revisiting Currie's Minimum Detectable Activity for Non-Destructive Assay By Gamma Detection Using Frequentist Tolerance Intervals and Bayesian Prediction Intervals
 T. Krieger et al.: Game theoretical analysis of a generalized acquisition path model
 D'Angelo et al.: Spaceborne Optical and SAR Data Analysis for Safeguards Activities
 J. Rutkowski et al.: Digital Declaration Site Map Submissions for Additional Protocol Article 2.a.(iii)
 M. Dreicer et al: Facilitating International Engagement in Arms Control Verification Using a Systems Approach
 R. Middendorp et al: Characterization of the Aerosol-Based Synthesis of Uranium Particles as a Potential Reference Material for Microanalytical Methods. *Analytical Chemistry* 89(8), 4721–4728 (2017)

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. Die Angaben werden von den Vorhabennehmern zur Verfügung gestellt und seit dem Jahr 2015 hier aufgeführt.

Diese zusammenfassende Darstellung wird im jährlichen Rhythmus erfolgen, d. h. sie wird jeweils im zweiten Halbjahresbericht eines Jahres erscheinen. Damit soll - zusätzlich zur Kurzdarstellung der Vorhabenergebnisse - dokumentiert werden, dass und wie die Ergebnisse verbreitet, bekanntgemacht und publiziert werden.

Publikationen

Im Jahr 2016 erfolgten rund 42 Veröffentlichungen in begutachteten Journalen, in Form von Schlussberichten, Doktor-, Master-, Bachelor- und Studienarbeiten. Davon sind ca. 33 % Universitäten, ca. 38 % Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft und ca. 29 % sonstigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen zuzuordnen.

Auf Konferenzen, bei Workshops und sonstigen Veranstaltungen wurden 2016 mehr als 90 Vorträge gehalten und Ergebnisse (Poster etc.) der BMWi-geförderten FuE-Vorhaben präsentiert. Davon entfielen ca. 21 % auf Universitäten, ca. 37 % auf Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft und ca. 42 % auf Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Aus- und Weiterbildung

Ein strategisches Forschungsziel der BMWi-Förderung ist die Bereitstellung von Expertise und Wissen und damit eines substanziellen Beitrags zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und zur Nachwuchsförderung im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland.

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 wissenschaftlichen Nachwuchs im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation zwischen Universitäten und Unternehmen.

Im Jahr 2016 waren 67 Nachwuchswissenschaftler in FuE-Vorhaben eingebunden. (Universitäten 75 %, Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft 25 %).

3 Verzeichnis der Forschungsstellen

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

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11061C | Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT) | 📖 38 |
| 02 E 11395 | Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA) | 📖 86 |

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) | 📖 16 |
|---------|---|------|

DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine
--

- | | | |
|-------------|---|-------|
| 02 E 11061B | Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT) | 📖 36 |
| 02 E 11182B | Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase – SanToS | 📖 48 |
| 02 E 11193B | Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen | 📖 52 |
| 02 E 11294 | Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen (ERNESTA) | 📖 58 |
| 02 E 11385 | Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA) | 📖 84 |
| 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 | 📖 88 |
| 02 E 11486B | Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B | 📖 136 |

- 02 E 11516** Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland (KONEKD)  144
- 02 E 11526B** Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt B  148
- Dr. Andreas Hampel, Grünberger Str. 56, 55129 Mainz**
- 02 E 11446A** Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt A  114
- Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Domstr. 11, 17489 Greifswald**
- 02 E 11344C** Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilproject C  76
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich**
- 02 W 6263** Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden  164
- Freie Universität Berlin, Kaiserwerther Str. 16-18, 14195 Berlin**
- 02 E 11547C** Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt C  154
- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Schwertnergasse 1, 50667 Köln**
- 02 E 11061A** Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein (AnSichT)  34
- 02 E 11072A** Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K_d-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS  40
- 02 E 11102** Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern  44
- 02 E 11182A** Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonformation in der Nachbetriebsphase – SanToS  46
- 02 E 11243** Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborative und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Re-kompaktionsverhalten der EDZ(LASA-EDZ)  54
- 02 E 11284** Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)  56
- 02 E 11304** Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri  60
- 02 E 11314** Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)  62
- 02 E 11324** Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2)  64
- 02 E 11334A** Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt A  66

- 02 E 11344A** Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt A 72
- 02 E 11365** Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE) 82
- 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 90
- 02 E 11456B** Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e^2), Teilprojekt B 126
- 02 E 11466** Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+) 128
- 02 E 11476A** Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A 130
- 02 E 11486A** Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A 134
- 02 E 11496A** Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A 138
- 02 E 11567B** Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH²M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B 160
- RS1552** Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung 28
- RS1553A** Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“) 30

<p>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 400 (B6), 01328 Dresden</p>
--

- 02 E 11334B** Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B 68
- 02 E 11344B** Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt B 74
- 02 E 11415B** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B 96

Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau

- 1501518B Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Akustische Messverfahren  22

IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig

- 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  92
- 02 E 11446B Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B  116

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 E 11415A Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A  94

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Senckenberganlage 31, 60325 Frankfurt am Main

- 02 E 11476B Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B  132

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

- 02 E 11355 Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (Expander)  80

Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

- 02 E 11446C Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C  118

Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V., Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg

- 02 E 11547A Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt A  150

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Seminarstr. 2, 69117 Heidelberg

- 02 E 11415H Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H  108

Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- 02 E 11334C Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt C  70

- 02 E 11415C Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C  98

- 02 E 11547B** Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B 📖 152
- 02 E 11456A** Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e^2), Teilprojekt A 📖 124
- 02 E 11496B** Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B 📖 140

**Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6,
09599 Freiberg**

- 02 E 11092** Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) – Phase 1 📖 42
- 02 E 11193A** Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen 📖 50
- 02 E 11435** MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von $MgCl_2$ -Lösung (MgO-SEAL) 📖 112
- 02 E 11526A** Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt A 📖 146
- 02 E 11557** Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II) 📖 156

**Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 14,
38106 Braunschweig**

- 02 E 11446D** Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt D 📖 120

**Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A,
38678 Clausthal-Zellerfeld**

- 02 E 11425** Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke) 📖 110
- 02 E 11446E** Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E 📖 122
- 02 E 11506** Vorprojekt – Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH^2M -Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluid-dynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim) 📖 142
- 02 E 11567A** Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH^2M -Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluid-dynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt A 📖 158

Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden
--

- | | | |
|--------------------|--|-------|
| 02 E 11415G | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G | 📖 106 |
| 1501510 | Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast) | 📖 18 |
| 1501518A | Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Analysen zu strahlungs-basierten und thermographischen Messverfahren | 📖 20 |

Technische Universität Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Straße, 67663 Kaiserslautern

- | | | |
|-----------------|--|------|
| 1501538A | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Simulation der Schädigung und der induzierten Erschütterungen in Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen (SimSEB) - Teilvorhaben: Verhalten von Stahlbetonstrukturen bei Stoßbelastungen unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung | 📖 24 |
| 1501543B | Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer — Teilvorhaben: Besondere Berücksichtigung der werkstoffspezifischen Besonderheiten großer Stahlbetonquerschnitte sowie der zugehörigen Bestandsaufnahme | 📖 26 |

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München
--

- | | | |
|--------------------|--|-------|
| 02 E 11344D | Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt D | 📖 78 |
| 02 E 11415E | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E | 📖 102 |

Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken
--

- | | | |
|--------------------|--|-------|
| 02 E 11415D | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D | 📖 100 |
|--------------------|--|-------|

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

- | | | |
|--------------------|--|-------|
| 02 E 11415F | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F | 📖 104 |
|--------------------|--|-------|