

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

PTE Nr. 58

BMWi geförderte FuE-Vorhaben zur
„Entsorgung radioaktiver Abfälle“

Berichtszeitraum: 1. Juli - 31. Dezember 2019

Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Entsorgung

April 2020

PTE-Berichte

Der Projektträger Karlsruhe (PTKA) 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/ptka-alt/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>9</i>
1.5	<i>Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen.....</i>	<i>13</i>
1.6	<i>Kernmaterialüberwachung.....</i>	<i>15</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	17
2.1	VORHABEN BEREICH 1	17
2.2	VORHABEN BEREICH 2 bis 5	39
2.3	VORHABEN BEREICH 6	221
	Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung.....	225
3	Verzeichnis der Forschungsstellen	227

1 Verzeichnis der Vorhaben gemäß FuE-Bereiche

1.1 Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter

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	 18
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	 20
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	 22
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	 24
1501560	Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK)	Leibniz Universität Hannover	 26
1501561	Entwicklung eines bruchmechanischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung - KEK	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	 28
1501576	ProCast - Probalistische Sicherheitsbewertung von Behältern aus Gusseisen	Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung angewandter Forschung e. V., München	 30
RS1552	Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)	 32

gGmbH, Köln

- | | | | |
|----------------|---|--|------|
| RS1553A | Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“) | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln | 📖 34 |
| RS1563 | Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln | 📖 36 |

1.2 Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl

02 E 11637A	Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt A: 3D-Spannungsmodell und Aufskalierung	TU Darmstadt	 128
02 E 11637B	Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt B: Multiskalenansatz	Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam	 130
02 E 11637C	Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt C: Geomechanik von Sedimentbecken	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	 132
02 E 11819	Mineralumwandlung und Sorption bei erhöhten Temperaturen in geklüfteten Kristallingesteinen und Barrierematerial (MUSE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 194
02 E 11829	Tonsteinforschung im Felslabor Mont Terri ab Phase 25 (MonTe-25)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 196

1.3 Endlagerkonzepte und Endlagertechnik

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	📖 40
02 E 11193B	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen	BGE Technology GmbH, Peine	📖 42
02 E 11385	Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 52
02 E 11527	Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 94
02 E 11537	Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt B	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin	📖 96
02 E 11557	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GE-SAV II)	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 104
02 E 11577A	Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 110
02 E 11617A	Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 122
02 E 11627	Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 126

02 E 11678	Untersuchungen zur Vervollständigung von Stoffmodellen für Salz- oder Sorelbeton sowie spezieller low-ph und hochdichter bzw. hochfester Betone zum rechnerischen Nachweis der Rissbeschränkung für Bauwerke (UVERSTOFF)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 146
02 E 11688	Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Durchführung, Auswertung und Reanalyse von THM-Versuchen (Salzschnittblöcke III)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 148
02 E 11698	Untersuchung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente (THYMECZ)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 150
02 E 11708A	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 152
02 E 11708B	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt B	BGE Technology GmbH, Peine	📖 154
02 E 11708C	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt C	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 156
02 E 11708D	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt D	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 158
02 E 11718A	Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 160
02 E 11718B	Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt B	DMT GmbH & Co. KG, Essen	📖 162
02 E 11728	Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus einem HAW-Endlager in Kristallingestein (KORREKT)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 164
02 E 11748A	Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt A	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 166
02 E 11748B	Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 168

02 E 11749	Weiterentwicklung der Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik von Endlagerbehältern (TREND)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 170
02 E 11769A	Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 178
02 E 11769B	Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 180
02 E 11779	MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz, Qualitätssicherung mit Ultraschall (MgO-S3)	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	📖 182
02 E 11799A	Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt A	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	📖 186
02 E 11799B	Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 188
02 E 11839	Entwicklung eines Leitfadens zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein HAW Endlager in Salzformationen (RANGERS)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 198

1.4 Sicherheitsnachweis

02 E 11284	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 44
02 E 11314	Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 46
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	 48
02 E 11365	Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 50
02 E 11415A	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A	Johannes-Gutenberg Universität Mainz	 54
02 E 11415B	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	 56
02 E 11415C	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	 58
02 E 11415D	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	 60
02 E 11415E	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E	TU München	 62
02 E 11415F	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F	Universität Potsdam	 64
02 E 11415G	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G	TU Dresden	 66

02 E 11415H	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 68
02 E 11446A	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt A	Dr. Andreas Hampel, Mainz	📖 70
02 E 11446B	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 72
02 E 11446C	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C	Leibniz Universität Hannover	📖 74
02 E 11446D	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt D	TU Carolus-Wilhelmina zu Braunschweig	📖 76
02 E 11446E	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 78
02 E 11466	Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 80
02 E 11476A	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 82
02 E 11476B	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B	Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main	📖 84
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	📖 86
02 E 11486B	Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B	BGE Technology GmbH, Peine	📖 88
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	📖 90

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	📖 92
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	📖 106
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 An- lagen- und Reaktor- sicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 108
02 E 11577B	Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B	Gesellschaft für An- lagen- und Reaktor- sicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 112
02 E 11607A	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A	Gesellschaft für An- lagen- und Reaktor- sicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 114
02 E 11607B	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	📖 116
02 E 11607C	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein- Leopoldshafen	📖 118
02 E 11607D	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt D	Forschungszentrum Jülich GmbH	📖 120
02 E 11617B	Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt B	Gesellschaft für An- lagen- und Reaktor- sicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 124
02 E 11647	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern (WiGru 8)	Gesellschaft für An- lagen- und Reaktor- sicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 134

02 E 11658A	Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 136
02 E 11658B	Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt B	BGE Technology GmbH, Peine	 138
02 E 11668A	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 140
02 E 11668B	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	 142
02 E 11668C	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	 144
02 E 11759A	Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt A	Friedrich-Schiller-Universität Jena	 172
02 E 11759B	Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt B	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	 174
02 E 11759C	Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt C	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 176
02 E 11809A	Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 190
02 E 11809B	Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt B	Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main	 192

1.5 Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen

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.	98
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	100
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	102
02 E 11789	Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA)	Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V.	184
02 E 11849A	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt A	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	200
02 E 11849B	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt B	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	202
02 E 11849C	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt C	Freie Universität Berlin	204
02 E 11849D	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt D	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	206
02 E 11849E	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt E	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	208
02 E 11849F	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt F	Leibniz Universität Hannover	210

- | | | | |
|--------------------|--|---|-------|
| 02 E 11849G | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt G | Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V. | 📖 212 |
| 02 E 11849H | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt H | TU Berlin | 📖 214 |
| 02 E 11849I | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt I | TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig | 📖 216 |
| 02 E 11849J | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt J | Universität Kassel | 📖 218 |

1.6 Kernmaterialüberwachung

- 02 W 6279** Neu- und Weiterentwicklung von Konzepten, Methoden und Techniken für die internationale Kernmaterialüberwachung, insbesondere im Rahmen der nuklearen Entsorgung (SAFEGUARDS-3) **Forschungszentrum Jülich**  222

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 Vorhaben Bereich 1

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 31.07.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.07.2019	
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

Vorhaben endete zum 31.07.2019. Keine Abgabepflicht zum Berichtszeitraum.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

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 31.07.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.07.2019	
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

Vorhaben endete zum 31.07.2019. Keine Abgabepflicht zum Berichtszeitraum.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 453.586,79 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. 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: Zur Erweiterung und Verifizierung von Simulationsmodellen an Versuchen mit Durchstanzbewehrung wurden 4 Versuche der Meppen II Testreihe aufbereitet. Der Einfluss der Durchstanzbewehrung wird immer noch international kontrovers diskutiert, weshalb Untersuchungen zum Einfluss der Durchstanzbewehrung auf den Perforationswiderstand bzw. den Schädigungsgrad weiterhin im Fokus dieses Arbeitspunktes standen. Die Auswertung der Ergebnisse aus den zugehörigen Versuchsberichten sowie die Ergebnisse der numerischen Simulation in LS-DYNA verdeutlichen die Reduzierung der Schädigung mit zunehmender Bügeldichte. Insbesondere aufgrund der nahezu identischen Aufprallgeschwindigkeit und der vergleichbaren Betongüte wurde der Winfrith Versuch 083 (UKAEA) als Vergleichsversuch zum großskaligen Meppen III/1 Test aufbereitet und analysiert. Es wurde nachgewiesen, dass das implementierte

RHT-Betonmodell in der Lage ist, die relevanten Phänomene im Zusammenhang mit Biege- und Stanzbruch sowie die jeweiligen Schädigungszonen abzubilden und auch die experimentell ermittelten Restgeschwindigkeiten zu berechnen.

- AP2: Die im Projekt verwendeten PML(perfectly matched layer)-Elemente zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion haben die Eigenschaft die Wellen nahezu perfekt zu absorbieren. Die in der Realität auftretenden Reflektionen bei geschichteten Böden werden nur erfasst, wenn die Schichtung mitmodelliert wird. Um die Boden-Bauwerk-Wechselwirkung zu berücksichtigen, muss die Bodenschichtung unter dem Fundament soweit modelliert werden, bis die Eigenschaften des Bodens sich nicht mehr gravierend ändern bzw. die Entfernung zum Fundament so groß wird, dass der Einfluss der Interaktion zu vernachlässigen ist. Bisher wurde das zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung angewandte Verfahren mit PML lediglich für elastische Berechnungen von einfachen Modellen mit Zeit- und Frequenzbereichsmethoden (Extended Mesh und Thin-Layer-Methode) verifiziert. Aktuelle Ergebnisse weisen darauf hin, dass nichtlineare Berechnungen mit Hilfe von PML-Elementen möglich sind, jedoch den Modellierungskriterien, wie schon bei den linearen Berechnungen, besondere Sorgfalt zuzuwenden ist.
- AP3: Insgesamt wurden für vier Turbinentypen Parameterstudien bezüglich der Parameter Bewehrungsgehalt- und dichte (Biege- und Bügelbewehrung), Materialkennwerte (z. B. Festigkeiten) und Abmessungen der Stahlbetonplatte durchgeführt. Das ebenfalls entwickelte und vorliegende Modell vom Triebwerkstyp trent 500 wurde im Detaillierungsgrad erweitert, so dass mit zwei Versionen Studien durchgeführt werden konnten.
- AP4: Im Oktober 2019 wurde von Seiten der Organisation des IRIS-3 Projektes ein erster Entwurf des Reports erstellt, welcher aktuell weiterbearbeitet wird.
- AP5: Für eine ganzheitliche und gekoppelte Untersuchung des Lastfalls Turbinenaufprall auf ein Zwischenlager werden geeignete und aufeinander abgestimmte 3D-Berechnungsmodelle von Turbine und Gebäude mit verschiedenen Methoden verifiziert. Neben den bereits durchgeführten Untersuchungen am STEAG Konzept der Zwischenlagerung, welches aufgrund der massiveren konstruktiven Bauteilabmessungen bereits einen Beitrag zur Sicherung der Castor-Behälter vor einem Flugzeugabsturz leistet, wurde ein zusätzliches detailliertes generisches Modell eines Zwischenlagers vom Typ WTI erstellt und ebenfalls mit verschiedenen Triebwerkstypen belastet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Aktuell noch untersuchte und simulierte Versuche verschiedener Testreihen (Meppen, UKAEA, VTT IMPACT I-III, TUD) sollen abgeschlossen und ausgewertet werden.
- AP2: Nachdem Abschluss der aktuellen Verifikationsberechnungen soll die PML-Methode zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung bei Anprallberechnungen eines Zwischenlagers Anwendung finden und der Einfluss der Interaktion quantifiziert werden.
- AP3: Die bereits gewonnenen sowie noch ausstehenden Aufpralltests der detaillierten Triebwerksmodelle sollen aufbereitet, zusammengeführt und für den ausstehenden Abschlussbericht bewertet werden.
- AP4: Die im Laufe dieses Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse sollen abschließend auf den letzten Stand des IRIS-3 Benchmark Mockups angewendet werden, um insbesondere die verbleibenden Defizite im Nachschwingverhalten einiger experimenteller Messstellen zu verbessern.
- AP5: Die Zwischenlagermodelle sollen mit verschiedenen Bodenstrukturen modelliert und die in AP2 entwickelten Methoden (PML) zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion angewendet werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

In diesem Berichtszeitraum wurden keine Publikationen veröffentlicht.

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(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 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 242.580,20 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 (FKZ: RS1553A).

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 Nachrechnungen kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer

Das AP3 des Verbundarbeitsplans wird ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP4: Die Ergebnisse der ersten Versuche an Proben mit prismen- und zylinderförmiger Geometrie wurden ausgewertet und verglichen. Die Bereiche unterschiedlicher Betonqualitäten waren dabei vertikal geschichtet. In den Versuchen führten Umlagerungseffekte zu einer Steigerung der mittleren Betondruckfestigkeit um über 10 %. Der Herstellprozess oder die Geometrie des Probekörpers hatten dabei keinen erkennbaren Einfluss auf das Ergebnis. Lediglich die Kontaktfugen zwischen den Schichten versagten bei den zylinderförmigen Proben häufiger als bei den prismenförmigen Proben. Des Weiteren wurden photogrammetrische Messungen an den Proben durchgeführt, um die Spannungsverteilung und die Kraftübertragung zwischen den Betonschichten zu ermitteln. Die vertikale Schichtung der Betone unterschiedlicher Qualität stellt einen Grenzfall dar. Um die zu erwartenden Umlagerungseffekte in einem realen Bauteil eingrenzen zu können, soll daher eine zweite Versuchsreihe mit dem zweiten Grenzfall einer horizontalen Schichtung durchgeführt werden. Die entsprechenden Proben befinden sich aktuell in der Herstellung.

Parallel zu den Experimenten wird an Finite-Elemente (FE)-Modellen gearbeitet, die zur Verifizierung der Versuchsergebnisse sowie der Untersuchung von Einflüssen wie dem Maßstabeffekt verwendet werden sollen.

Ferner wurde eine Literaturrecherche zu den Besonderheiten massiger Bauteile sowie zum Bayes'schen Updating durchgeführt. In Bezug auf die massigen Bauteile lag der Fokus auf den Auswirkungen und Herausforderungen, die diese Bauwerke hinsichtlich einer Bauwerksuntersuchung und Bestandsaufnahme mit sich bringen.

AP5: Im Rahmen der Literaturrecherche wurden auch im Hinblick auf die Nachrechnung von Zwischenlagern vielversprechende Ansätze gefunden, wie zusätzliche Daten und Informationen aus Monitoringmaßnahmen berücksichtigt werden können. Die Ansätze beziehen u. a. die Einflüsse unterschiedlicher periodischer Abstände der Messungen im Rahmen von Monitoringmaßnahmen ein.

AP6: Erste Ideen zum Aufbau einer Methodik für die Ermittlung der vorhandenen Zuverlässigkeit bestehender kerntechnischer Bauwerke wurden festgehalten.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP4: Fortführung der Literaturrecherche zu den Besonderheiten massiger Bauteile mit Fokus auf das Thema Eigen- und Zwangsspannungen.

Generierung von Aussagen zu theoretischen Anwendungsmöglichkeiten des Bayes'schen Updating für Zwischenlager.

AP5: Aufarbeitung der identifizierten Ansätze zur Berücksichtigung von Monitoring-Maßnahmen hinsichtlich der Anwendbarkeit auf Zwischenlager.

AP6: Analyse der Vorhabenergebnisse und Konkretisierung der Ideen für die Methodik zur Ermittlung der vorhandenen Zuverlässigkeit bestehender kerntechnischer Bauwerke.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 1501560
Vorhabensbezeichnung: Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2017 bis 31.08.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 206.081,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Maier	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei Brennelementen stellt das Zirkonium-Hüllrohr die innere Barriere gegen Nuklidfreisetzung dar. Neben dem Langzeitverhalten des Behälters ist das der Hüllrohre für die Verlängerung der Zwischenlagerphase bis zur Endlagerung von Interesse. Wichtig für die Stabilität sind die Entstehung und Verteilung von Zirkoniumhydriden in der Zirkonium-Matrix. Ziel des Vorhabens ist es, Modellvorstellungen zu entwickeln, wie die langfristige Entwicklung der Materialeigenschaften verläuft. Durch Modellexperimente und Modellierungsansätze sollen die Schädigungsvorgänge im Material dargestellt werden. Die langfristigen Schädigungen der Zirkoniumhydrid-Bildung und -umverteilung stehen dabei im Fokus der Arbeiten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Definition der Randbedingungen
- AP2: Materialwissenschaftliche Basisuntersuchungen an Zirkonium-Basislegierungen
- AP3: Modellexperimente zur Simulation der Materialentwicklung
- AP4: Modellierungsansätze zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Zirkonium-Materials
- AP5: Beschreibung und Untersuchung des Spannungszustandes im Zr-Material
- AP6: Verifikation Experiment-Simulation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Literaturrecherche wird kontinuierlich mit Fokus auf Wasserstoffbeladung, Wasserstoffversprödung und zeitlicher Entwicklung von Hüllrohrmaterialien fortgesetzt.
- AP2: Da der erreichte Wasserstoffgehalt im Werkstoff bei der Beladung in den ersten Versuchen nicht an den im Kernkraftwerksbetrieb zu erwartendem Gehalt heranreichte, wurden Versuche zur Überdruckgasbeladung (Druck ca. 18 bar; Temperatur ca. 250 °C; Dauer 1100 h) durchgeführt, wobei ein Wasserstoffgehalt von 400-500 wppm erreicht werden konnte. Die Größe der hierbei erzeugten Hydride lag jedoch im sub- μm -Bereich und die Hydride hatten sich nur vereinzelt zu längeren Hydridplatten zusammengesetzt, was gemäß Literatur nicht den zu erwartenden Hydriden unter betrieblichen Bedingungen entsprach. Daher wurden Versuche zu einer Wärmebehandlung im Anschluss an die Beladung durchgeführt. Dabei wurde der mit Wasserstoff beladene Werkstoff 60 h einer Temperatur von 400 °C ausgesetzt und anschließend sukzessiv (Abkühlrate 40 K/s) abgekühlt. Im Zuge dieser Wärmebehandlung vereinigten sich die kleinen Hydride zu größeren Hydridplatten, was den Befunden aus der Literatur näherkam. Die Dauer der Wärmebehandlung vor den Reorientierungsversuchen soll daher auf ca. 96 h erhöht werden. Aufgrund der unerwartet guten Ergebnisse bezüglich der Wasserstoffaufnahme von ungeschliffenem Werkstoff in der ersten Jahreshälfte wurden überdies Versuche zu dessen Überdruckbeladung angestoßen. In Röntgenbeugungsuntersuchungen an beladenen Werkstoffproben konnten Ausscheidungen zwar als Hydride identifiziert werden, eine Unterscheidung in Bezug auf deren Morphologie war jedoch nicht möglich. Zur Ermittlung des grundsätzlich erreichbaren Kontrastes bei Röntgenuntersuchungen des Werkstoffs wurden Durchstrahlungsversuche in einer Mikrofokusanlage durchgeführt. Die dabei bisher erhaltenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Darstellbarkeit von Hydriden im Kontrastbereich von Rissprüfungen an Zirkonium liegen dürfte.
- AP3: Zur Ableitung eines Versuchsplans für die Modellversuche zur Werkstoffveränderung über die Zeit wurden in der Literatur Zustände von Zircaloy 2-Brennstäben nach dem Leistungsbetrieb im Kernkraftwerk recherchiert und daraus Versuchsparameter abgeleitet. Um einen möglichst umfassenden Parametersatz abdecken zu können, sind eine große Anzahl von Versuchen nötig. Daher wurde der Versuchsaufbau neu konstruiert, um Wärmebehandlung der Proben sowie Versuchsdurchführung für bis zu 12 Werkstoffproben in 4 Druckbereichen simultan durchführen zu können.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Fortführung der Literaturrecherche
- AP2: Probenherstellung für Basisuntersuchungen an Zr-Basislegierungen; Fortführung der Analyse der sich in der Beladung ausbildenden Hydridphasen sowie des Beladungsverhaltens von ungeschliffenem Rohmaterial
- AP3: Konstruktion und Bau neuer Versuchsstände
- AP5: Durchführung von Grunduntersuchungen zur Messung von Eigenspannungsverläufen über die Rohrwanddicke

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), 12200 Berlin		Förderkennzeichen: 1501561
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines bruchmechanischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung - KEK		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2018 bis 31.03.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 254.513,00 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Zencker	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bislang wird bei der atomrechtlich genehmigten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente von der uneingeschränkten Intaktheit der Brennstäbe und Brennstabhüllrohre ausgegangen. Im Hinblick auf zukünftig deutlich verlängerte Zwischenlagerzeiten sind diesbezüglich zusätzliche belastbare Nachweise erforderlich. Zahlreiche internationale Untersuchungen an Brennstabhüllrohrmaterialien zeigen, dass unter den thermomechanischen Bedingungen der Behälterbeladung und -zwischenlagerung Veränderungen im Gefüge der Hüllrohrwerkstoffe auftreten können, die mit einer potenziell deutlich erhöhten Sprödbrochenanfälligkeit einhergehen. Das Gesamtziel des Vorhabens besteht daher in der Entwicklung von Methoden zur Identifizierung des Risikos für sprödes Versagen von Brennstabhüllrohren und in der Ermittlung der Grenzbedingungen, unter denen sprödes Versagen ausgeschlossen werden kann.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik
- AP2: Entwicklung eines bruchmechanischen numerischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohrabschnitten im Ring Compression Test (RCT)
- AP3: Entwicklung eines bruchmechanischen Versagenkriteriums für Brennstabhüllrohre
- AP4: Validierung der entwickelten numerischen Modelle mittels experimenteller Untersuchungsergebnisse
- AP5: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Im Rahmen eines Forschungsaufenthalts an der Polytechnischen Universität Madrid wurden insgesamt 7 Proben aus einem Brennstabhüllrohrabschnitt aus dem Werkstoff ZIRLO® im Ring Compression Test (RCT) untersucht (2 unbehandelt, 2 wärmebehandelt, 3 mit radialen Hydriden präpariert). Die Wasserstoffbeladung erfolgte elektrolytisch unter Verwendung einer Kaliumhydroxidlösung. Danach wurden die Proben 7 h bei 450 °C mit kontrolliertem Abkühlen bis 200 °C wärmebehandelt, um eine Ausfällung von Zirkoniumhydriden zu erzielen. Nach Behandlung lag der Wasserstoffgehalt der Proben bei 160 wppm. Zur anschließenden Umorientierung der Hydride in radiale Richtung wurden die Proben auf 10 mm gekürzt und unter Umfangsspannung von 140 MPa erneut wärmebehandelt (Starttemperatur 400 °C, Abkühlungsrate: 1,2 K/min). Nach der Prozedur waren nahezu im gesamten Querschnitt zahlreiche lange radiale Hydride vorhanden, die über die gesamte Wanddicke verteilt waren. Bei den RCTs zeigten die drei derart präparierten Proben deutliche Kraftabfälle bei einer Verschiebung von ca. 0,5 mm. Die unbehandelten sowie die ausschließlich wärmebehandelten Proben wiesen in den RCTs axiale Risse und deutlich plastische Bereiche in den Kraft-Verschiebungskurven bei Verschiebungen von ca. 7 mm auf. Nach den RCTs erfolgten metallografische und fraktografische Studien an den hydrierten Proben. Die Ergebnisse wurden mit den Kraftabfällen aus den Kraft-Verschiebungskurven korreliert. Dabei konnten Risse detektiert werden, die sich teilweise über die gesamte Wanddicke der Ringe erstreckten und der Lage der Hydride folgten.
- AP3: Die Entwicklung eines Versagenskriteriums unter Berücksichtigung der Ergebnisse der durchgeführten FE-Simulationen und RCTs wurden begonnen. Dafür wurde der Beginn des Versagens der Kohäsivelemente (Simulation) mit den abrupten Kraftabfällen (RCTs) korreliert und daraus eine kohäsive Festigkeit ermittelt. Die Höhe der gemessenen Kraftabfälle erwies sich dabei als unmittelbar abhängig von der kontinuierlichen Ausdehnung der radialen Hydride in der Probe bzw. von der Länge des versagenden Anteils der Kohäsivzone im Modell.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Analyse des Festigkeitsverhaltens und der Mikrostruktur mit Fokus auf die Hydridstruktur der in RCTs getesteten Brennstabhüllrohrabschnitte.
- AP3: Fortsetzung der Entwicklung eines bruchmechanischen Versagenskriteriums für Brennstabhüllrohre unter Verwendung der Ergebnisse aus den RCTs.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- U. Zencker et al.: Brittle failure of spent fuel claddings during long-term dry interim storage; SPAR IV Third Research Coordination Meeting, 07.-11.10.2019; CNEA, Buenos Aires, Argentinien
- U. Zencker et al.: Embrittlement of spent fuel claddings during long-term dry interim storage – Current approach at BAM; ESCP Winter 2019 Meeting, 04.-08.11.2019; EPRI, Charlotte, USA
- U. Zencker: Spent Fuel Characterization – Current Activities in Germany, TM on Spent Fuel Characterization for Management of Spent Fuel in the Back End of the Fuel Cycle, 12.-14.11.2019, IAEA, Wien, Österreich

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung angewandter Forschung e. V., Hansastr. 27c, 80686 München		Förderkennzeichen: 1501576
Vorhabensbezeichnung: ProCast - Probabilistische Sicherheitsbewertung von Behältern aus Gusseisen		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.1		
Laufzeit des Vorhabens: 15.10.2018 bis 14.10.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 806.546,89 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Hohe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Validierung eines probabilistischen Bewertungskonzepts für Bauteile aus Gusseisen, das in der Lage ist, auf Basis der stochastischen Eigenschaften der Mikrostruktur des Werkstoffs die Ausfallwahrscheinlichkeit von Bauteilen in Abhängigkeit der Mikrostruktur, der Umgebungstemperatur und den Belastungsszenarien zuverlässig rechnerisch vorherzusagen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Werkstoffversuche:

Durchführung von Versuchen zur Bestimmung der Festigkeitswerte des Werkstoffs (GJS-400), zur Quantifizierung des Versagensverhaltens, zur Charakterisierung der Mikrostruktur sowie zur Beschreibung der Schädigungsentwicklung.

AP2: Mikrostruktursimulation:

Simulation des Versagensverhaltens des Werkstoffs auf der Mikrostrukturebene und des ferritischen Matrixwerkstoffs im spröd-duktilen Übergangsbereich sowie Beschreibung der Interaktion der Rissausbreitung mit den Graphiteinschlüssen.

AP3: Bruchmechanisches, probabilistisches Versagenskonzept:

Herleitung eines kombinierten Versagenskriteriums für duktilen und spröden Versagen.

AP4: Kontinuumsmechanische Versagensmodellierung:

Formulierung des makroskopischen Versagenskriteriums durch kontinuumsmechanische Feldgrößen (Spannung, Dehnung).

AP5: Ableiten eines probabilistischen Bewertungskonzepts:

Statistische Beschreibung aller Eingangsgrößen und Implementierung der Berechnungsschritte und Algorithmen in ein Bewertungsprogramm; Validierung des Bewertungswerkzeugs anhand einer Analyse von Fallbeispielen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Es wurden Zugversuche bei vier verschiedenen Dehnraten und drei Prüftemperaturen durchgeführt. Der Werkstoff zeigte dabei ein für globulares Gusseisen typisches charakteristisches Verhalten. Weiterhin wurden erste Versuchsreihen mit SEB-Proben

durchgeführt und die vorläufigen Auswertergebnisse verglichen. Bei Raumtemperatur zeigt der Werkstoff auch bei höheren Rissbeanspruchungsraten ein duktileres Verhalten. Um Aussagen über die Mikrostruktur zu erhalten, wurde bei sämtlichen Zug- und Biegeproben der nicht hochbeanspruchte Werkstoffbereich metallographisch analysiert. Im Mittelpunkt standen dabei Graphitanzahl, -form und -abstand, wobei auch eine geeignete Analyse- und Auswerterroutine zur Erfassung und statistischen Auswertung der Daten erstellt wurde. Darüber hinaus wurden auch Informationen zur Gefügematrix mit Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Materials isoliert. Die detaillierten Analysen sollen ermöglichen, aussagekräftige Korrelationen zwischen ausgewählten Gefügeparametern und gemessenen mechanischen Werkstoffeigenschaften zu erstellen.

- AP2: Das Werkzeug zur Mikrostrukturgenerierung wurde erweitert, so dass eine Anpassung auf die reale Größe der Partikel erfolgen kann. Daneben wurde die Möglichkeit integriert, zwischen Matrix und Partikel eine Grenzschicht einzufügen, um ein Versagen an der Grenze zwischen Partikel und Werkstoff modellieren zu können.
- AP3: Die Auswertungen der Festigkeits- und Bruchmechanik-Kennwerte aus der Literatur wurden durch Versuchsergebnisse aus dem Vorhaben ergänzt und in die Datenbank für IWM VERB eingepflegt.
- AP4: Neben dem bruchmechanischen wird auch ein duktileres Versagenskriterium zur Definition der plastischen Vergleichsdehnung in Abhängigkeit von der Spannungsmehrachsichtigkeit verwendet. Basierend auf der Streuung der Festigkeitskennwerte wurden für den Werkstoff eine probabilistische Beschreibung von Versagensgrenzkurven abgeleitet. Die Validierung analytisch abgeschätzter Versagensgrenzkurven erfolgte bislang nur für niedrige Spannungsmehrachsichtigkeitsgrade.
- AP5: Mit den erstellten bruchmechanischen Ersatzmodellen für die Bewertung von Rissinitiierung und -wachstum am Graphitteilchen wurden erste FE-Analysen durchgeführt und die Spannungsintensitätsfaktoren ermittelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Abschluss der Probenfertigung und der Zugversuche sowie Durchführung der Biegeversuche zur Ermittlung der bruchmechanischen Eigenschaften.
- AP2: Vertiefte Literaturrecherche hinsichtlich der Materialparameter und erster Abgleich von Versuchs- und Literaturdaten.
- AP3: Erweiterung der Werkstoffdatenbank.
- AP4: Validierung der probabilistischen Beschreibung der Versagensgrenzkurve.
- AP5: Abschluss der Implementierung der analytischen Ersatzmodelle in IWM VERB.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: 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 1.1			
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 31.05.2020		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.093.090,00 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 Langzeit trockenlagerung sowie Austausch mit den in diese Forschung involvierten Forschungsstellen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Auf einem Ergebnistreffen der Teilnehmer des Blind-Benchmarks wurden die Berechnungsergebnisse mit den Codes MOTIVE und OREST präsentiert und diskutiert. Im Nachgang wurden Unregelmäßigkeiten bei der Versuchsdurchführung festgestellt und teilweise behoben. Die Diskussion über die aktualisierten Ergebnisse dauert noch an.
- AP2: Die Arbeiten zur mikroskopischen Vorhersage der Gestalt der Hydride wurden abgeschlossen. Unter Verwendung der Software LAMMPS wurden Simulationen zum Verhalten der Zirkonium(Zr)-Wasserstoff(H)-Moleküle durchgeführt und geeignete Potentiale zur Beschreibung des Hüllrohrmaterialverhaltens auf atomistischer Ebene untersucht. Die benötigten Daten für die Potentiale wurden durch Anwendung von Korrelationen aus der Literatur abgeleitet. In einem anschließenden Abgleich mit experimentellen Daten für reines Zirkonium wurde eine gute Übereinstimmung festgestellt. In Berechnungen mit Zr-H-Systemen konnte jedoch keine stabile Kristallstruktur nachgebildet werden. Die abgeleiteten Potentiale scheinen folglich die Interaktionen zwischen Zr und H nicht vollumfassend zu beschreiben. Es wird festgestellt, dass sich aus molekulardynamischen Simulationen mit LAMMPS nur mit neu erstellten Potentialen belastbare Ergebnisse erhalten lassen, was einen hohen Aufwand bedeuten würde. Dabei könnten keine Diffusions-, Auflösungs- und Ausfällungseffekte modelliert werden. Der molekulardynamische Ansatz erscheint für Simulationen zum Hüllrohrverhalten in der Zwischenlagerung daher nicht zielführend. Ferner wurden mit Finite-Elemente (FE)-Methoden das Werkstoffkriechen bei verschiedenen ausgerichteten Hydriden untersucht. In das FE-Modell wurden die Kriechraten für Zircaloy-4 implementiert. Hydride wurden im Modell als Störstellen modelliert und eine Zugspannung in der Simulation aufgebracht. Aus den Kriechraten des Zircaloy-4 und der Hydride – letztere sind abhängig von der Ausrichtung der Hydride – wurden Gesamtkriechraten errechnet und für ausgewählte Ausrichtungen verglichen. Dabei zeigte sich, dass bei Ausrichtung der Hydride in Richtung der Zugbelastung (in Umfangsrichtung) die max. akkumulierte Kriechdehnung um das 2,3-fache größer war, als bei radial ausgerichteten Hydriden.
- AP3: Die Modelle zur Visualisierung der COBRA-SFS-Ergebnisse in ParaView wurden derart verbessert und erweitert, dass sowohl eine dreidimensionale als auch eine quasi-kontinuierliche Darstellung vieler Parameter (bspw. Wärmeflüsse, Massenstrom, Enthalpie) möglich ist. Ferner können mit ParaView nun kurze Videos zur Darstellung zeitlicher Verläufe erstellt werden. Darüber hinaus wurde eine Schnittstelle zum Austausch relevanter Temperaturen zwischen COBRA-SFS und TESP-ROD erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Entwicklung eines Modells zur Vorhersage der Spröbruchübergangstemperaturen und Implementierung in TESP-ROD.

5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Péridis et al.: Analysis of 3-dimensional Temperature Fields of Loaded Dry Storage Casks; Proceedings of the 19th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2019; August 4-9, 2019 New Orleans, USA

Auftragnehmer: 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: 15.03.2017 bis 14.06.2020		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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 (FKZ: 1501543B).

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 Nachrechnungen kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer

Der AP4 des Verbundarbeitsplans wird ausschließlich durch den Verbundpartner bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der recherchierte Stand von Wissenschaft und Technik wurde weiter dokumentiert.
- AP2: Die Erkenntnisse zur Anpassung des Zielzuverlässigkeitsindex für die Nachrechnung bestehender Bauwerke wurden ebenfalls weiter dokumentiert.

- AP3: Im Zuge der Arbeiten zur Einwirkung „Hochwasser und anlagenexterne Überflutungen“ wurde das prinzipielle Vorgehen bei einer Standortgefährdungsanalyse schriftlich aufbereitet, wobei die Qualität verfügbaren Messdaten, die Möglichkeiten der Extremwetterstatistik sowie der Übertrag von Messdaten aus Wetterstationen auf den Standort der Anlage im Fokus standen. Ferner wurde auf probabilistische Überflutungsgefährdungsanalysen eingegangen, bspw. den SHAC-F-Prozess (USA), die sich methodisch an probabilistischen seismischen Gefährdungsanalysen orientieren. Die Untersuchungen zur Einwirkung „Explosionsdruckwelle“ fokussierten sich auf chemische Explosionen. Aus der Basisauslegung gegen Explosionen kann auf Abstandsbeziehungen zwischen einer kerntechnischen Anlage und z. B. Verkehrswegen zurückgeschlossen werden. Neben deterministischen Beziehungen zwischen Stoffmengen und Schadwirkungen existieren auch probabilistische Ansätze, die u. a. auch auf Parameter aus Unfallstatistiken zurückgreifen. Zum „Flugzeugabsturz (FLAB)“ wurde die historische Entwicklung aufbereitet und eine mögliche Prozedur zur Ermittlung von Absturzwahrscheinlichkeiten dargelegt. Generell lässt sich der mechanische Aufprall infolge von FLAB entkoppelt (separate Ermittlung der Last-Zeit-Funktion) oder gekoppelt betrachten. Für Ermittlung von Materialkennwerten bei der Nachrechnung bestehender Bauwerke müssen dabei weitere besondere Aspekte berücksichtigt werden.
- AP5: Die Rechercheergebnisse zu Monitoring-Verfahren wurden dokumentiert.
- AP6: Für die Ermittlung der operativen (bzw. tatsächlichen) Zuverlässigkeit eines kerntechnischen Bauwerks muss die bei der Bemessung zugrunde gelegte Zielzuverlässigkeit ermittelt werden, die bei bestehenden Bauwerken häufig nicht bekannt ist. Aus Bemessungsanforderungen und -unterlagen lässt sich diese jedoch ggf. indirekt abschätzen. Die hierfür erforderlichen Parameter können mittels statistischer Methoden ermittelt werden. Ausgangswerte hierfür können In-situ-Messungen oder Monitoring-Verfahren liefern. Weiterhin muss bei der Ermittlung der operativen Zuverlässigkeit u. a. auch Alterungseffekte berücksichtigt werden.
- AP7: Für die zuverlässigkeitsorientierte Nachrechnung muss die ermittelte operative Zuverlässigkeit der Zielzuverlässigkeit der bestehenden kerntechnischen baulichen Anlagen gegenübergestellt werden. Da derzeit keine Werte für diese Zuverlässigkeit in Normen vorhanden sind, muss sie zuerst bestimmt werden, wobei u. a. Ansätze der sozioökonomischen Optimierung (inkl. der menschlichen Sicherheit) zum Einsatz kommen können.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Dokumentation der Rechercheergebnisse zur internationalen Normenentwicklung
- AP3: Fortführung der Untersuchung zur Auslegung kerntechnischer Bauwerke
- AP5: Zusammenfassung und Dokumentation der Erkenntnisse zu Monitoring-Maßnahmen
- AP6: Fortsetzung der Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung vorhandener Zuverlässigkeit bestehender kerntechnischer Bauwerke
- AP7: Weiterentwicklung der Methodik für die zuverlässigkeitsorientierte Nachrechnung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: RS1563
Vorhabensbezeichnung: Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2018 bis 30.04.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 520.315,00 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Bahr

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es sollen strukturmechanische Analysemethoden zur Berechnung und Bewertung der Schädigung von Stahlbetonstrukturen infolge Alterung entwickelt und erprobt werden. Den Fokus der zu untersuchenden Betonstrukturen bilden Gebäude zur Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle, denn die Betriebszeit der Zwischenlager in Deutschland soll, wegen der Verzögerungen bei der Errichtung eines Endlagers, verlängert werden. Zu ausgewählten Alterungsmechanismen sollen vereinfachte Verfahren zur Prognose und Bewertung der Schädigung von Stahlbetonbauwerken erarbeitet werden. Weiterhin sollen ausgewählte Alterungsmechanismen in Materialmodelle zum Betonverhalten aufgenommen werden, um in Simulationen basierend auf der erprobten strukturmechanischen Finite-Elemente-Methode (FEM) im Zeitbereich über die Standzeit der Gebäudestruktur eine Aussage hinsichtlich der strukturellen Veränderung und der Schädigung treffen zu können. Die erarbeiteten Methoden sollen an Versuchen mit kleinskaligen Probekörpern und Gebäudestrukturen validiert und im Rahmen von generischen Berechnungen zur Tragfähigkeit eines Zwischenlagers für den Lastfall Erdbeben erprobt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Ausgehend von der Gesamtheit der Alterungsmechanismen sollen zu den ausgewählten Alterungsmechanismen Kriechen, Schwund und Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) vereinfachte Berechnungsverfahren erarbeitet werden.
- AP2: Die ausgewählten Alterungsmechanismen sollen in ihrer Wirkung in der strukturmechanischen Finite-Elemente-Simulation berücksichtigt werden. Hierfür sollen Implementierungsmöglichkeiten geschaffen werden.
- AP3: Die strukturmechanische Simulation unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwund soll anhand von Experimentaldaten, die im Rahmen der zweiten Phase des VeRCoRs-Projekts an Projektteilnehmer verteilt werden, validiert werden. An der zweiten Phase des VeRCoRs-Projekts, das von der Working Group IAGE der OECD/NEA organisiert wird, soll teilgenommen werden.
- AP4: Die strukturmechanische Simulation unter Berücksichtigung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion soll mithilfe von im ASCET-Projekt erzielten Versuchsdaten validiert werden.
- AP5: Es sollen strukturmechanische Simulationen mit einem generischen Analysemodell eines Zwischenlagers deutscher Bauart unter Berücksichtigung von Alterungsmechanismen durchgeführt werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Zu den offenen Fragen der Einwirkung der Spannkabel-Spannung auf die im VeRCoRs-Modellcontainment gemessenen Dehnungen wurde EDF kontaktiert. Im Rahmen der SMiRT-25 Konferenz wurde Kenntnis von einem von der U.S. NRC finanzierten Projekt "Effects of alkali-silica reaction on mechanical properties and structural capacities of reinforced concrete structures" genommen. Im Rahmen des Projektes sollen unter anderem vereinfachte Berechnungsmethoden zur Modellierung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion erarbeitet werden.
- AP2: Die Anwendbarkeit der im Rahmen von AP4 ausgewählten Simulationsprogramme Moose und Black Bear mit Berechnungsmodellen zum Kriechen, Schwinden und zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion, die vom Idaho National Laboratory entwickelt werden, wurde evaluiert.
- AP3: Der Einsatz der gewählten Simulationsprogramme Moose und Black Bear wurde hinsichtlich der praktischen Umsetzbarkeit einer strukturmechanischen Finite-Elemente-Simulation des VeRCoRs-Modellcontainments untersucht.
- AP4: Eine Auswertung der Fachliteratur ergab, dass eine realistische Berechnung der strukturmechanischen Wirkung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) einer direkten Implementierung des Alterungsmechanismus in der Materialbeschreibung bedarf. Die Wirkung des Alterungsmechanismus ist, vergleichbar mit dem Kriechen des Betons, abhängig vom lokalen dreidimensionalen Spannungszustand. Darüber hinaus interagiert die strukturmechanische Wirkung der AKR mit dem Kriechen und Schwinden des Betons. Die strukturmechanische Finite-Elemente-Simulation unter Berücksichtigung der AKR bedarf einer Implementierung eines AKR-Modells, eines Modells zu Kriechen und Schwinden und eines Schädigungsmodells des Betonmaterials. In den von der GRS angewendeten Finite-Elemente-Simulationsprogrammen ANSYS Mechanical und LS-DYNA ist dies nicht gegeben. Als Lösung der Problemstellung werden die vom Idaho National Laboratory entwickelten Programmpakete Moose und Black Bear angesehen.
- AP5: Im Rahmen des Verbundvorhabens SimSEB (FKZ 1501538A und RS1550B) wurde ein CAD-Modell eines Zwischenlagers nach STEAG-Bauweise erstellt. Das CAD-Modell wurde für eine Erstellung eines Simulationsmodells aufbereitet. Die Informationen hinsichtlich Materialdaten und Beschreibungen der Bewehrung wurden ausgewertet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Sobald Informationen und Ergebnisse von EDF und der U.S. NRC vorliegen, sollen diese im Projekt verwendet werden. Die Auswertung der Fachliteratur wird fortgeführt.
- AP2: Aufgrund einer noch nicht ausreichenden Informationslage hinsichtlich der Umsetzung der betrachteten Alterungsmodelle zum Kriechen und Schwinden sowie zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion soll die Fachliteratur weiter ausgewertet werden.
- AP3: Die Ergebnisse der strukturmechanischen Simulation sollen mit den im Rahmen des VeRCoRs-Projekts gemessenen Dehnungen an den Messstellen in der Betonstruktur verglichen werden.
- AP4: Die Einarbeitung in die Programme Moose und Black Bear des Idaho National Laboratory soll fortgeführt werden.
- AP5: Die Erstellung eines Simulationsmodells eines Zwischenlagers vom STEAG-Typ soll fortgesetzt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

2.2 Vorhaben Bereich 2 bis 5

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 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 3.057.537,00 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 Beschreibung des Materialverhaltens für die rechnerische Nachweisführung. Untersuchungsschwerpunkte sind Füllsäulen aus verdichtetem Steinsalz, Widerlagerelemente aus MgO-Beton, Weiterentwicklung der Bauausführung und Qualitätskontrolle von Asphalt dichtungen, Zusatzuntersuchungen zum Bentonitdichtelement (z. B. Integration von Äquipotentialsegmenten), Analyse von Bauzuständen sowie Belastungs- und Strömungsprozessen in FE- und PFC-Modellen. 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 BGE TECHNOLOGY federführend bearbeitet. Die TU Bergakademie Freiberg ist federführend für AP2 bis AP4. Bei AP5 ist BGE TECHNOLOGY federführend.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Arbeiten abgeschlossen.

AP2: Planungsarbeiten abgeschlossen. Teilbericht fertig gestellt.

AP3: In Laborversuchen wird im Klimaschrank der Temperatur-Zeit-Verlauf des Großbohrlochversuchs mit MgO-Beton der Rezeptur C3 (3-1-8-Bindemittelphase) nachgestellt. Der Phasenbestand der mit dem Temperatur-Zeit-Fenster 70 °C (typisch für Kern) und 40 °C (typisch für Randbereich zur Steinsalzkontur) entwickelt sich wie folgt: In beiden Fällen nimmt der Anteil der primär gebildete 5-1-8-Bindemittelphase weiter ab und der Anteil der 3-1-8-Bindemittelphase nimmt weiter zu. In den begleitenden Laborversuchen werden geringere Expansionsdrücke (2,2 bis 2,5 MPa) gemessen, als nach der gleichen Standzeit im In-situ-Großbohrlochversuch (hier zur gleichen Laufzeit ca. 4 MPa). Ein Druckabfall (Gefügerelaxation?) ist noch nicht beobachtet worden.

AP4: Im Vergleich zum ersten pneumatischen Vortest (IBeWa: 12.2.2019: $3 \cdot 10^{-18}$ m² bis $3 \cdot 10^{-17}$ m²) zeigt der zweite pneumatischen Vortest vom 3.9.2019 eine deutlich geringere effektive Gaspermeabilität des Gesamtsystems "Pfropfen im Großbohrloch" mit dem MgO-Beton C3 im Steinsalz von $2 \cdot 10^{-18}$ m². Im Ergebnis des dritten pneumatischen Vortests (3.12.2019) verringerte sich die effektive Gaspermeabilität des Gesamtsystems weiter auf $1 \cdot 10^{-18}$ m². Am 12.12.2019 wurde die Druckkammer Lösung befüllt und der Füllstand kontrolliert konstant gehalten. In Arbeitsbereich der Druckkammerbohrung (zwischen 3,5 m und 4,3 m Bohrlochteufe) betrug die Gaspermeabilität $3,8 \cdot 10^{-20}$ m² bis $< 10^{-22}$ m².

Der Kontaktdruck zwischen Steinsalz und MgO-Beton C3 beträgt 365 Tage nach der Betonage 5,25 MPa (obere Messebene) und 6,20 MPa (untere Messebene) und beginnt zu stagnieren. Da diese Druckentwicklung des MgO-Betons C3 durch die Sekundärkristallisation der 3-1-8-Bindemittelphasen verursacht ist, scheint sich dieser Prozess dem Abschluss zu nähern.

Im Ergebnis der Hydrofracmessungen (IfG) wurde im Bereich des Großbohrlochversuches (4 m Bohrlochteufe) eine kleinste Hauptnormalspannung von knapp 4 MPa ermittelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fortschreibung der Teilberichte.

AP2: Keine weiteren Arbeiten.

AP3: Fortsetzung der Untersuchungen an Proben des MgO-Betons C3, die nach dem tatsächlichen Temperatur-Zeit-Verlauf des Großbohrlochversuches hergestellt wurden (Phasenbestand, Festigkeiten, Permeabilität).

AP4: Fortsetzung der Auswertung der Messwerte am Großbohrlochversuch zum Test eines Verschlusselementes aus MgO-Beton C3 im Steinsalz. Durchführung der Lösungsdruckbeaufschlagung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE 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 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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 weiterentwickelt 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 BGE TECHNOLOGY GmbH ist federführend beteiligt an den Arbeitspaketen 1, 5 und 6.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP5:

Zur Simulation dynamischer Lasten in einer Schottersäule wurde an der Verknüpfung zwischen dem partikelbasierten Code PFC3D und einer kontinuumsmechanischen Umgebung

(FLAC3D) sowie der dynamischen Anregung des Modells durch ein Erdbeben weitergearbeitet. Als Testmodell dient eine 50 m hohe Schottersäule. Die Korngröße des Schotters wurde im Modell um den Faktor 6 vergrößert (zur Verringerung der Rechenzeit). Die Beobachtungspunkte zeigen innerhalb der Schottersäule einen Verlauf der Vertikal- und Horizontalspannungen, wie er im Rahmen der Silotheorie zu erwarten ist. Das Modell wurde mit dem Referenzerdbeben belastet (P und S-Wellen zusammen). In der Schottersäule stellt sich ein verändertes Lastverhältnis ein. Die beobachteten Setzungen sind sehr gering und betragen gerade einmal 1 cm. Zur weiteren Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse wurde ein zweites Erdbeben an der bereits dynamisch angeregten Säule simuliert. Es traten dabei keine weiteren Setzungen auf. Die Spannungsverläufe bleiben quasi unverändert. Die Säule scheint somit bereits nach dem ersten Erdbeben eine Art dichteste Lagerung erreicht zu haben. Am Modell (Kopplung Kontinuum-Partikel und dynamische Anregung) wurden im Weiteren Parameterstudien zum Dämpfungsverhalten der Partikel, des Reibungswinkels und der Partikelverteilung begonnen. Dämpfung und Reibung werden immer an der bestehenden Partikelsäule geändert und zunächst bis zum Gleichgewicht gerechnet. Dann wird das Erdbeben aufgebracht. Der Dämpfungsbeiwert wurde in einem Bereich von 0,01 bis 0,9 (0,5=kalibrierter Wert) variiert. Die Änderung des Dämpfungswertes zeigte keine Änderungen im Spannungsverlauf und Setzungsverhalten. Der Reibungswinkel wurde deutlich herabgesenkt und deutlich erhöht. Im Ergebnis zeigten sich neue Spannungsverläufe, die ebenso mit der Silotheorie vereinbar sind. Ferner wurde das Stoffmodell für Bitumen weiterentwickelt. Hierfür wurden mehrere theoretische Ansätze getestet, die sowohl die Temperatur- als auch die Spannungsabhängigkeit beim zeitabhängigen Materialverhalten von Bitumen berücksichtigen. Mittels bereits vorhandener oszillierenden Messungen von Rheometer-Versuchen des AP3 wurde das Burger-Modell basiertes Stoffgesetz erweitert und in FLAC3D implementiert. In diesem Zeitraum wurde dieses Bitumenstoffgesetz an Laborversuchen am Bitumen STELOX 80/20 kalibriert. Dafür wurde ein rotationssymmetrisches Modell gebaut und der komplette Versuchsaufbau modelliert. Im Ergebnis zeigte sich eine sehr gute Anpassung der Scherdehnungen an alle Laborversuche.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP5: Die Arbeiten zur Simulation von Schottersäulen mit Hilfe eines partikelbasierten Codes werden weitergeführt. Die Parameterstudien zur Dämpfung, Reibung und der Partikelverteilung sollen abgeschlossen werden. Als Gebirge wurde bisher Steinsalz angenommen; entsprechende Parameter für Tongestein müssen noch im Modell umgesetzt werden. Die Arbeiten zur Entwicklung eines Bitumenstoffgesetzes werden weitergeführt. Im folgenden Berichtszeitraum soll das entwickelte Modell an einer zweiten Bitumensorte getestet werden.
- AP6: In Abstimmung mit TU Freiberg wurde eine Anpassung der Berichtsstruktur vereinbart. Für bereits abgeschlossene APs sollen die Teil- und Abschlussberichte erstellt werden bzw. die vorhandenen Berichtsentwürfe finalisiert werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- C. Müller, P. Herold: Impact of Earthquakes on Geotechnical Barriers, Poster, DECOVALEX Symposium 2019, Brugg, November 2019
- V. Burlaka, C. Müller, P. Herold: Shaft sealing elements made of bitumen – numerical analysis of the construction process and long-term behaviour, Poster, DECOVALEX Symposium 2019, Brugg, November 2019

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 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 846.738,00 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

Aufgrund der hohen Ausfallzeiten der VSA wurde ab August von der METER group ein Leihgerät kostenfrei zur Verfügung gestellt, um die Fehlzeiten zu kompensieren. Seitdem konnten folgende Messungen für MX-80 und Calcigel erfolgreich durchgeführt werden:

- Adsorptions- und Desorptionsisothermen (Hysterese) bei 25 °C und 55 °C
- Adsorptionsscanlines bei 25 °C (für MX-80 gegenwärtig noch laufend)
- Desorptionsscanlines bei 25 °C.

Für die Scanlines wurden dabei neue Anfangspunkte definiert, um den Bereich zwischen den vollständigen Adsorptions- und Desorptionsisothermen besser abzudecken.

Von der Verwendung von Mikrozellen aus Titan für die Messung von Isothermen eingespannter Bentonitproben wurde abgerückt. Stattdessen wurde eine Zelle konstruiert, die sich aus hartem Kunststoff in einem 3D-Drucker herstellen lässt. Ein entsprechender Drucker wurde daraufhin beschafft, eingerichtet und erste Zellen wurden gedruckt. Dabei zeigten sich einige nicht vorhergesehene Schwierigkeiten. Beispielsweise ließ sich keine befriedigende Genauigkeit bei der Herstellung von Gewinden erreichen. Das Zellendesign wurde dementsprechend optimiert. Ebenfalls nicht augenfällig war, dass die mechanischen Materialeigenschaften der Zellen von der Nachbehandlung nach dem Drucken (Curing) abhängen. Ein erster Test der Zellen in einem Exsikkator auf Beständigkeit bei einer Trockendichte von 1500 kg/m³ und bei verschiedenen Curingzeiten wurde abgeschlossen.

In Braunschweig wurde ein Treffen mit SKB und Stockholm University zum Thema 3D-Druck im Zusammenhang mit hydraulischen Experimenten durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass die Wasseraufnahme von Kunstharzen ein zurzeit nicht quantifizierbares Problem bezüglich der Maßhaltigkeit gedruckter Bauteile darstellt. Nachfolgend wurde daher ein Katalog einfacher aber aussagekräftiger Tests erstellt, mit denen sich ein Einfluss auf konkrete Versuche abschätzen lassen sollte.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Auswertung der Messungen mit der VSA zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der Isothermen
- Herleitung geeigneter analytischer Funktionen zur Beschreibung der verbleibenden Scanlines.
- Modellierung einer generischen Aufsättigungssituation mit MX-80 zur Untersuchung des Einflusses der neuen Isothermenfunktionen
- Wiederholung des Tests auf Beständigkeit der gedruckten Mikrozellen mit höheren Bentonittrockendichten.
- Durchführung von Tests zur Maßhaltigkeit gedruckter Bauteile unter Einfluss von Wasser/Dampf
- Ermittlung von Isothermen für eingespannte Bentonitproben
- Modellrechnungen mit neuen Sorptionsisothermen
- Einrichtung einer Rechenfallbibliothek

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11314
Vorhabensbezeichnung: Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 bis 30.11.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.11.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 666.350,00 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 Ausbreitungspfadens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich auswirkt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuchsprogramme zur Synthese und Charakterisierung von eisen(II)haltigen Korrosionsphasen wurden abgeschlossen. Hierzu gehörte insbesondere Langzeitversuche zur Bestimmung der Löslichkeitskonstanten von Chukanovit und Hibbingit. Beim Hibbingit konnten auch nach drei Jahren Versuchsdauer keine Änderungen der Löslichkeit beobachtet werden, hingegen gab es noch Änderungen bei Chukanovit. Für diese beiden Phasen wurden die Messungen bei 40 °C fortgesetzt. Die Löslichkeitskonstante ist wie erste Messungen zeigten bei 40 °C etwas kleiner. Die Auswertung der Messergebnisse für Chukanovit wird durch das Fehlen von Stabilitätsdaten für vorherrschende Fe(II)-Komplexe erschwert. Es konnte noch nicht geklärt werden, warum die Löslichkeitskonstante für Hibbingit in nahezu gesättigter NaCl-Lösung deutlich abwich.

Die zuvor berechneten Spannweiten für mögliche Ausprägungen des Redoxniveaus und der Azidität im Nahfeld korrodierten Endlagerbehälter dienten als Ausgangspunkt zur Abschätzung der Löslichkeit von Radionukliden. Hierbei wurde vereinfachend angenommen, dass die Verhältnisse in der aktiven Korrosionszone (Kontaktfläche Metall/Korrosionsphasen) maßgebend sind, da austretende Radionuklide diese Zone durchschreiten müssen, bevor sie weiter migrieren können. Tatsächlich wird experimentell bei zunehmendem Korrosionsfortschritt eine deutliche mineralogische Zonierung zwischen Korrosionsfront und umgebenden Tongestein beobachtet, der mit einer kontinuierlichen räumlichen Veränderung des geochemischen Milieus (Redoxniveau und pH) einhergeht.

Für die Redox- und Aziditäts-Randbedingungen (pH 9,5 bis 10,5, H₂-Druck 10⁻⁴ bis einige Hundert bar) wurden mit Hilfe verschiedenerer Datenbasen für verschiedene relevante Radionuklide die thermodynamisch vorherrschenden Oxidationsstufen in Lösung und die stabilen Festphasen ermittelt.

Für diese Oxidationsstufen wurden dann mit Hilfe verfügbarer Datenbasen (vornehmlich THEREDA, soweit verfügbar, sonst JAEA/NEA) Bandbreiten für Löslichkeiten für die ausgewählten Radionuklide berechnet und, wo vorhanden, mit den entsprechenden Messdaten aus dem Projekt LÖVE verglichen. Diese Löslichkeitsprognosen können als Löslichkeitsgrenzen für Ausbreitungsrechnungen im Endlagergebäude verwendet werden, um den Einfluss der Eisen-Korrosionsphasen auf die maximalen Dosisraten abzubilden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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 31.07.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.07.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 252.875,00 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, Karlsruher 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 Uran(IV/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:

- Fertigstellung und Einreichung der Publikation zum Einfluss von Sulfat auf die U(IV)-Speziation: „Thermodynamic and structural aspects of the aqueous uranium(IV) system – hydrolysis vs. sulfate complexation“
- Erstellung der Dissertation von Frau Susanne Lehmann

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11365
Vorhabensbezeichnung: Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2015 bis 30.11.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 30.11.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 935.201,00 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 Löslichkeit von Radionukliden in Salzlösungen bei verschiedenen pH-Werten wurde im Berichtszeitraum weiter untersucht. Hierzu gehörten im zweiten Halbjahr insbesondere Experimente mit Verbindungen der Elemente Zinn (Oxidationsstufe II), Selen (Oxidationsstufe -II und IV), Molybdän (Oxidationsstufe IV) und Silber in IP21- und Unterkreidetonwässern. Versuche mit Silber wurden unter Rotlicht durchgeführt, um einer Photooxidation vorzubeugen. Damit wurde das experimentelle Programm plangemäß durchgeführt.

Die vorliegenden Ergebnisse ergänzen die bisherigen Erkenntnisse für IP9- und Halit/Anhydrit-gesättigten Lösungen. Für die meisten der untersuchten Elemente und Oxidationsstufen lagen experimentelle Vergleichsdaten oder auch modellierte Löslichkeiten bislang nicht vor. Einige wenige Messwerte existieren für konzentrierte NaCl-Lösungen. Häufig liegen die gefundenen Konzentrationen innerhalb früherer, sehr breiter Vertrauensbereiche für Löslichkeitsgrenzen. Die Gleichgewichts-Bodenkörper konnten nicht immer identifiziert werden.

Die bislang zur Verfügung stehenden thermodynamischen Datenbasen erlauben für die betrachteten Radionuklide nur in wenigen Fällen eine Berechnung der Löslichkeit in salinaren Lösungen. Besonders für reduzierte Oxidationsstufen wie Mo(IV), Se(-II), Sn(-II) bestehen keine Datenbasen, die für salinare Lösungen anwendbar wären. Für einfach zusammengesetzte Salzlösungen wie Halit/Anhydrit-gesättigte Lösungen sind grobe Abschätzungen der Löslichkeit aufgrund von Analogiemodellen möglich, aber teils mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Für gemischte, konzentrierte Salzlösungen wie IP9 und IP21 sind solche Ansätze nicht anzuraten.

Die Versuchsergebnisse bilden in Kombination mit Literaturdaten und abschätzenden Modellierungen, wo anwendbar, die Grundlage zur Ableitung von Löslichkeitsgrenzen für verschiedenen pH-Bereiche.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE 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 + Endlagertechnik, Feld 3.4		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2015 bis 31.10.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.10.2019	
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 weiterentwickelt.

Ein weiteres Teilziel ist die Entwicklung Handlungsoptionen bei Erreichen von „Trigger Values“ 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
- AP4: Handlungsoptionen bei Erreichen von „Trigger Values“ und offene Fragen
- AP5: Dokumentation der Ergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde der Abschlussbericht zu diesem Vorhaben final erstellt.

Im Ergebnis des Projektes wird zunächst geschildert, wie sich das Thema Monitoring im internationalen Kontext in den letzten 20 Jahren entwickelt hat. Darüber hinaus sind die Rahmenbedingungen für ein Monitoring in Deutschland und die damit verbundenen regulatorischen Anforderungen und Richtlinien erläutert. Entscheidende Zielsetzung ist, dass mit dem Monitoring die Aussagen der im Vorfeld erstellten Sicherheitsanalyse zur Entwicklung des Endlagersystems überprüft werden sollen. Bezogen auf die Rahmenbedingungen wird ein Weg aufgezeigt, wie ein sinnvolles Monitoring Programm entwickelt werden kann, insbesondere im Zusammenhang mit aktuellen Sicherheits- und Nachweiskonzepten.

Ein Kernelement dieses Weges stellt die Parameter-Screening-Methode dar, die im Rahmen der internationalen Kooperation innerhalb des MODERN2020 Projektes entwickelt wurde. Sie dient zum einen der objektivierten Rechtfertigung, warum einzelne Parameter Teil eines Monitoring-Programms sind und zum anderen dient es der Transparenz nach außen; d. h., Außenstehende können nachvollziehen, warum es im Zusammenhang mit dem Sicherheitsnachweis wichtig ist, einzelne Parameter einem Monitoring zu unterziehen. Ein inhärenter Bestandteil der Screening-Methode ist die Identifizierung von Möglichkeiten und Grenzen eines standortspezifischen Monitoring-Programms. Es erlaubt somit sowohl eine transparente als auch eine fachlich fundierte Bewertung dessen, was von einem Monitoring erwartet werden kann und was nicht. Anhand des Beispiels einer geotechnischen Barriere aus dem Verschlusskonzept des Projektes ANSICHT wurde die Screening-Methode exemplarisch angewendet und ihre Leistungsfähigkeit dokumentiert.

Abschließend wird diskutiert, in welcher Form die Ergebnisse eines Monitorings im Rahmen von Entscheidungsprozessen im Endlagerprogramm genutzt werden können. Klar ist, dass Monitoring nicht als ein universelles Werkzeug zur Prüfung der Endlagersicherheit angesehen werden kann. Nutzt man aber die beschriebene Monitoring-Strategie, die ein schrittweises Vorgehen im Sinne eines 'Lernkonzeptes' vorsieht, kann das Monitoring ein geeignetes Werkzeug sein, um Kenntnisse über das langfristige Verhalten des Barrierensystems zu vertiefen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M. (2019): Monitoring von Endlagern für hochradioaktive Abfälle mit Blick auf die Langzeitsicherheit und im Kontext der Partizipation, MONTANARA, Abschlussbericht, BGETEC 2019-02, Peine

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 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 663.720,00 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

In Batchexperimenten wurde der Einfluss von Gluconat (GLU, $1,0 \times 10^{-2}$ M Na-Gluconat) auf die Sorption von $^{234}\text{Th}(\text{IV})$ ($9,6 \times 10^{-13}$ M) an Zementstein (HCP, 2,5 g/l) in Gegenwart von Zementporenwasser auf Basis der verdünnten Gipschlösung (ACW-VGL) bei pH = 12,5 un-

ter Ar-Atmosphäre untersucht. Dabei wurde die Reihenfolge der Zugabe von Th(IV) und GLU variiert. Der Abstand der Zugaben bzw. die Kontaktzeit betrug immer 72 h. Bei den Experimenten zeigte sich, dass die Zugabe von GLU und die Reihenfolge der Zugabe einen wesentlichen Einfluss auf die Sorption von Th(IV) an HCP hat. In Abwesenheit von GLU und auch bei der Zugabe von Th(IV) und anschließend GLU wurde nahezu eine quantitative Sorption $\geq 97\%$ erhalten. Bei gleichzeitiger Zugabe von Th(IV) und GLU bzw. bei der Reihenfolge zuerst GLU und dann Th(IV) war die Sorption mit ca. $\sim 9\%$ sehr gering. Die Untersuchung der Th(IV)-GLU-Proben über eine längere Zeit ergab, dass die Sorption sehr langsam zunimmt, d. h. nach 126 Tagen war die Sorption von Th nur auf ca. 20% angestiegen. Darin unterscheidet sich dieses Experiment mit Th(IV) und GLU von analogen Experimenten mit Am(III), Np(V) und U(VI), bei denen in allen Versuchen eine schnelle Einstellung des Sorptionsgleichgewichtes beobachtet wurde. Vermutlich hat der Oxidationszustand des Actinids einen Einfluss auf die Kinetik der Sorption.

Die Diffusionsexperimente mit $^{99}\text{TcO}_4^-$ (8×10^{-6} M) in Ca-Bentonit (Ca-B) bei 25 und 60 °C in VGL bei pH = 7,2 – 7,5 an Luft wurden um zwei Versuche mit höherer Kompaktion ($\rho_{\text{tro-cken}} = 1,8 - 1,9$ g/cm³) ergänzt. Die berechnete Porosität (ϵ) des Ca-B betrug 0,30; die mittels HTO-Diffusion bestimmten Werte lagen bei 0,40 – 0,47. Bei 25 °C ergab sich $D_e = (0,5 - 0,9) \times 10^{-11}$ m²/s und $\alpha = 0,14 - 0,16$. Für die Diffusion bei 60 °C wurden Werte von $D_e = (1,3 - 1,9) \times 10^{-11}$ m²/s und $\alpha = 0,14$ erhalten.

Zusätzlich erfolgte ein Diffusionsversuch mit Opalinuston (OPA) und VGL als mobile Phase. Die mittels HTO ermittelte Porosität betrug 0,19; die Diffusionsparameter für Tc(VII) waren $D_e = 3,3 \times 10^{-12}$ m²/s und $\alpha = 1,15$. Vergleichbare Experimente mit OPA-Porenwasser als mobile Phase lieferten Diffusionsparameter von $D_e = (0,4 - 1,1) \times 10^{-12}$ m²/s, $\alpha = 0,07 - 1,02$. Der höhere D_e -Wert für das $^{99}\text{TcO}_4^-$ -Anion mit VGL als mobile Phase im Vergleich zu OPA-PW kann auf einen Anionenausschlusseffekt auf Grund der unterschiedlichen Ionenstärken von VGL und OPA-PW zurückgeführt werden.

Ergänzend zu den oben beschriebenen Experimenten wurden Untersuchungen zur Aufklärung der Mikrostruktur des Zementsteins und der darauf beruhenden Reaktivität durchgeführt. Die HCP-Mikrostruktur wurde durch polierte Planschliffe erschlossen und deren Hauptkomponenten (unhydratisierte Klinker- und Hydratphasen) mittels des kombinierten Ansatzes aus SEM/EDX und TOF-SIMS identifiziert. Nach einem ersten Sorptionsexperiment mit U(VI) (2×10^{-5} M) in Zementporenwasser (ACW) zeigte sich in beiden bildgebenden Methoden eine durch selektive Mineralphasenauflösung und -ausfällung veränderte Oberfläche. Durch die höhere Nachweisempfindlichkeit der TOF-SIMS für Uran gegenüber dem eingesetzten SEM/EDX-Setup konnte mit ersterer eine Oberflächenverteilung gewonnen werden, die allerdings noch keine Rückschlüsse auf etwaige Reaktivitäten der HCP-Komponenten erlaubt. Aktuell werden weitere Arbeiten zum Einfluss des Elektrolyten auf die Mikrostruktur der Zementoberfläche durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der experimentellen Untersuchungen und Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Stietz: Batchexperimente und CE-ICP-MS Messungen zur Sorption von U(VI) und Np(VI) an Zementstein, 2019, Masterarbeit.

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 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 935.093,00 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

Untersuchungen zum aquatischen Uranyl(VI)–Citrat-System umfassten die Aufklärung der Molekülstrukturen der dominierenden Komplex-Spezies und deren Dynamik sowie die Bestimmung von Stabilitätskonstanten. Mithilfe ein- und zweidimensionaler NMR-Spektroskopie, UV/Vis-, FT-IR- und EXAFS-Spektroskopie sowie quantenchemischen Berechnungen (DFT) wurden mehrkernige Uranyl–Citrat 2:2-, 3:3- und 3:2-Komplexe als dominierende Spezies für den sauren bis leicht-alkalischen pH-Bereich (pH 2 bis 8) identifiziert. Unter besonderer Berücksichtigung der durch Komplexbildung im Citrat induzierten Stereozentren wurden auf spektroskopischem Wege die Strukturen der *syn*- und *anti*-konfigurierten Isomere (bezeichnet nach relativer Stellung der ungebundenen CH₂–COO Reste) des 2:2 U(VI)–Citrat-Komplexes beschrieben. Die Kombination aus ¹⁷O-NMR der Uranyl-Einheiten und DFT-Berechnungen erlaubte die Bestimmung der Komplexgeometrie und Konfiguration. Erstmals wurde gezeigt, dass in wässriger Lösung das *syn*-Isomer deutlich begünstigt ist, während in Kristallstrukturen nahezu ausschließlich das *anti*-Isomer vorkommt. Beide Formen existieren gleichzeitig; Umwandlungsraten und Aktivierungsenergie wurden bestimmt.

Mit Erhöhung des pH-Wertes hydrolysieren die beiden koordinierenden Wasserliganden. Diese sukzessive H⁺-Abstraktion innerhalb des binuklearen U(VI)–Cit 2:2 (= 2:2:0) Komplexes führt zur Bildung der entsprechenden 2:2:1 bzw. 2:2:2 (U:Cit:OH) Komplexe. Oberhalb von pH 5 beginnt die Bildung trinuklearer Komplexe mit 3:3 bzw. 3:2 U(VI):Citrat-Stöchiometrie. Für alle Komplexe wurden Stabilitätskonstanten bestimmt.

Bei weiterer pH-Erhöhung verschwindet der 3:3 Komplex allmählich, so dass etwa bei pH 9 ausschließlich der 3:2 Komplex vorliegt. Im pH-Bereich 10 bis 12 zerfällt auch der 3:2 Komplex und es bildet sich vermutlich eine mononukleare Spezies (UO₂Cit(OH)₂³⁻).

Es wurden weitere Batch-Sorptionsuntersuchungen sowie site-selektive TRLFS-Messungen zum Einfluss von Ca²⁺ auf die Radionuklidrückhaltung an Tonmineralen bei hohen pH-Werten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschließende Bewertung der U(VI)-Retention durch C-A-S-H-Phasen bei erhöhten Ionenstärken.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wolter, J.-M., Schmeide, K., Huittinen, N., Stumpf, T.: Cm(III) retention by calcium silicate hydrate (C-S-H) gel and secondary alteration phases in carbonate solutions with high ionic strength: A site-selective TRLFS study. *Scientific Reports* 9, 14255 (2019).

Kretzschmar, J., Strobel, A., Haubitz, T., Drobot, B., Steudtner, R., Barkleit, A., Brendler, V., Stumpf, T.: Uranium(VI) complexes of glutathione disulfide forming in aqueous solution. *Inorg. Chem.* (akzeptiert).

Kretzschmar, J., Tsushima, S., Jäckel, E., Meyer, R., Steudtner, R., Müller, K., Schmeide, K., Brendler, V., Stumpf, T.: Dimeric Uranium(VI)–Citrate Complexes: Structures and Dynamics. Vortrag: Jahrestagung der FG Nuklearchemie der GDCh 2019, 25.-27.09.2019, Dresden, Germany.

Lippold, H., Becker, M., Schymura, S.: Einfluss polymerer Zementadditive auf die Mobilität von Radionukliden unter Nahfeldbedingungen eines Endlagers. Poster: Jahrestagung der FG Nuklearchemie der GDCh 2019, 25.-27.09.2019, Dresden, Germany.

Wolter, J.-M., Schmeide, K., Huittinen, N., Weiss, S., Brendler, V., Stumpf, T.: Comparison of the stability of U(VI) and Cm(III) doped calcium (aluminum) silicate hydrate (C-(A)-S-H) phases at saline conditions. Poster: Migration 2019 - 17th Int. Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere, 15.-20.09.2019, Kyoto, Japan.

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 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 885.255,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten (FuE) dieses Vorhabens befassen sich mit anwendungsbezogener, standortunabhängiger Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Entsorgung, insbesondere Wärme entwickelnder und langlebiger radioaktiver Abfälle. Sie haben zum Ziel, wissenschaftlich-technische 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. Im Rahmen des Projekts wird das geochemische Verhalten von Actiniden in simulierten Grundwässern bzw. Porenwässern, die im Kontakt mit Betonbauwerken stehen, untersucht. Hierbei wird zum einen die Actinidwechselwirkung mit gelösten organischen Komplexbildnern wie z. B. den bei der Betonherstellung verwendeten Plasticizern und Superplasticizern untersucht. Des Weiteren wird die Actinidsorption an Tonmineralphasen in Gegenwart anionischer Liganden (CO_3^{2-} , Gluconat, Citrat) quantifiziert. Anhand experimenteller Daten werden geochemische Modelle entwickelt sowie Daten und Parameter abgeleitet, die für Sicherheitsanalysen Verwendung finden können.

Die Arbeiten finden in enger Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, den Universitäten Mainz, Potsdam, Heidelberg, Köln, Saarbrücken sowie der TU Dresden und TU München statt.

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

AP1 und AP3:

Die Auswertung der Experimente zur Ca-Komplexierung (binäres Ca-GLU-System) sind abgeschlossen und es wurde begonnen ein Review-Manuskript zum binären Ca-GLU-System anzufertigen. Hierbei wird die Ca-Komplexierung im hyperalkalinen pH-Bereich mit einem neuen thermodynamischen Modell mit den folgenden Spezies beschrieben: CaGLU^+ , GLU^- , $\text{CaOHGLU}(\text{aq})$, $\text{Ca}_2(\text{OH})_3\text{GLU}(\text{aq})$ und $\text{Ca}_3(\text{OH})_4(\text{GLU})_2(\text{aq})$. Das Manuskript zur Löslichkeit von An(III)/Ln(III) im GLU-System in

verdünnten bis konzentrierten NaCl und CaCl₂-Lösungen wurde fertiggestellt und wird nach einer abschließenden internen Abstimmung voraussichtlich im Februar eingereicht. Die thermodynamische Modellierung ist in diesem Papier noch nicht berücksichtigt worden. Nach der Auswertung der Löslichkeitsdaten von Nd(OH)₃(s) in Gegenwart von GLU und in NaCl- und CaCl₂-Lösungen wurde mit der thermodynamischen Modellierung des Systems An(III)/Ln(III)-GLU in verdünnten bis konzentrierten NaCl und CaCl₂-Lösungen begonnen. Hervorzuheben ist hierbei, dass in verdünnten CaCl₂-Lösungen ternäre Ca-An(III)/Ln(III)-GLU-Komplexe gebildet werden, die durch TRIFS-Experimente mit Cm(III) bestätigt wurden. Als Resultat wird die Löslichkeit von An(III)/Ln(III) bei [GLU] > 10⁻³ m erhöht. Bei mittleren bis konzentrierten CaCl₂-Konzentrationen findet dagegen keine An(III)/Ln(III)-GLU-Komplexierung statt, da bei diesen Bedingungen die Ca-GLU-Komplexe dominierend sind. Eine Veränderung der An(III)/Ln(III)-Löslichkeit findet nicht statt. Die gleichen qualitativen Beobachtungen wurden für die An(III)/Ln(III)-Löslichkeit in MgCl₂-Lösungen gemacht.

AP2:

Die durchgeführten Batchexperimente zum Einfluss von Carbonatanionen auf die Sorption von Eu(III) und Cm(III) an Tonmineralien wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen, neben einer starken Abnahme der Sorption im alkalischen Bereich, einen leichten Anstieg der log K_d Werte bei leicht saurem pH. Oberflächensensitive ATR-IR-Spektroskopie zeigt, dass CO₃²⁻ bereits im schwach sauren pH-Bereich an der Montmorillonit-Oberfläche gebunden wird. Über Vibronic Sideband Spectroscopy (VSBS) wurde das Vorhandensein von ternären Cm(III)-CO₃²⁻-Oberflächenspezies nachgewiesen. Mit Hilfe von quantenchemischen Rechnungen (DFT, AIMD) ist bei der ternären Oberflächenspezies im sauren pH-Bereich das Cm(III)-Ion direkt an eine amphotere OH-Gruppe einer Kante gebunden, während das CO₃²⁻ Ion sowohl an die Tonmineraloberfläche als auch an das Actinid-Ion bindet und somit als stabilisierender „Anker“ fungiert. Die Koordination eines zweiten CO₃²⁻ Liganden bei höherem pH erfolgt vollständig am Cm(III), wobei der sich bildende Komplex nach wie vor stabil an der Oberfläche gebunden bleibt. Die Koordination eines dritten Liganden bei pH-Werten größer 9 führt jedoch zu einer Destabilisierung der Oberflächenbindung, wodurch die Bildung eines [Cm(CO₃)₃]³⁻ Komplexes in der wässrigen Phase begünstigt wird. Dies ist in hervorragender Übereinstimmung mit der beobachteten starken Abnahme der log K_d -Werte im alkalischen pH-Bereich.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Quantifizierung der Sorption von Carbonat an Tonmineralien, geochemische Modellierung der Sorption von Eu(III) und Cm(III) an Montmorillonit und Illit in carbonathaltigen Lösungen und Einreichen eines Manuskripts zum Einfluss von Carbonat auf die Sorption von dreiwertigen Actiniden und Lanthaniden an Tonmineralien.
- Fertigstellung und Einreichen des Review-Manuskripts zur binären Calcium-Gluconat-Komplexierung, des Manuskripts zu den „Screening-Experimenten“ mit Nd(III), Th(IV) und U(VI) und selektierten Zementadditiven und Vorbereiten des Manuskripts zur An(III)/Ln(III)-Gluconat-Wechselwirkung in MgCl₂-Lösungen mit dazugehörigem thermodynamischen Modell.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Dissertation von Felix Rieder: Impact of competing anions on the sorption of trivalent actinides onto clay mineral surfaces, KIT, Oktober 2019

Vorträge: Skerenack-Frech et al.: Migration 2019 conference, Kyoto, September 2019; Tasi et al.: Goldschmidt conference, Barcelona, August 2019

Poster-Präsentation: Gaona et al.: Migration 2019 conference, Kyoto, September 2019

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 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 728.871,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kautenburger	

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 bzw. anorganischen Zementzusätzen (beispielsweise Glenium 51 oder 2-Phosphonobutan-1,2,4-tricarbonsäure, kurz PBTC) 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 wie Eu(III), U(VI), Cs und I einzeln und im WASTE Cocktail (entspricht einem Elementgemisch mit einer dem Endlagerinventar vergleichbaren Zusammensetzung) im Tonmineralien und Zementphasen 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

- AP1: Untersuchung der Zusammensetzung von Zementporenwasser (CPW) mittels Auslaugversuchen, Definition und Herstellung von synthetischem Zementporenwasser (ACW) für weitere Untersuchungen
- AP2: Untersuchung der Wechselwirkung von ACW mit Ton (Batch-Versuche mit Opalinuston und Calcigel), Analyse des Korrosionsprozesses von Ton durch hoch-pH und ACW
- AP3: Untersuchung der Sorption von endlagerrelevanten Elementen an unverändertem und verändertem Ton („aged clay“) in Anwesenheit von ACW (Batch-Versuche)
- AP4: Wechselwirkung von CPW bzw. ACW mit Ton bzw. Tongemischen (OPA, Ca-Bentonit) mittels Miniatur-Säulen-Experimenten (MSE)
- AP5: Untersuchung des Einflusses organischer Additive im Eluat aus Korrosionsprozessen auf die Retardation bzw. Mobilisierung von endlagerrelevanten Metallen
- AP6: Rückhaltung von endlagerrelevanten Elementen und Elementgemischen an Zementphasen mittels Batch-Versuchen auch unter dem Einfluss von Zusatzmitteln
- AP7: Untersuchungen zur Rückhaltung von endlagerrelevanten Elementen an Zementphasen mittels dynamischer Sorptionsversuche anhand miniaturisierter Säulenexperimente (MSE)
- AP8: Remobilisierung endlagerrelevanter Elemente von Tonstein (Opalinuston/Calcigel)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum wurden dynamische Sorptionsversuche an Zementstein mittels MSE durchgeführt. Zunächst wurde in Vorversuchen ein möglichst hoher, noch durchlässiger Sorbensanteil bezüglich der Säulenfüllung im Vergleich zu den MSE-Versuchen an Ton ermittelt. Hier hat sich ein Anteil von 10 Gew % Zement als geeignet erwiesen. Da Zement ein alkalisches Material ist, stellte sich auch bei Eluenten mit anfänglich neutralem pH-Wert nach Durchfluss durch die Säule ein pH-Wert von 10-12 ein. Innerhalb einer Retentionszeit von 120 min konnten ca. 140 µg Eu^{3+} an einer mit 100 mg befüllten Säule, bestehend aus 10 Gew %-Zement/90 Gew %-Sand, zurückgehalten werden. Während der Versuchsreihe wurde Reinstwasser als Eluent verwendet welches mit 40 µl min^{-1} injiziert wurde. Aufgrund des hohen pH-Werts im und nach dem Säulenbereich ist ein Teil des Rückhalts auf Eu^{3+} -Ausfällung zurückzuführen. Dies wurde mit 0,1 M NaNO_3 als Eluent bei pH 4 validiert. Der pH-Wert nach der Säule sank hierdurch auf 7,6 und nur noch 26 µg Eu^{3+} wurden immobilisiert. Verdrängungsversuche mit Tb^{3+} zeigten eine schwache Immobilisierung von Tb^{3+} während gleichzeitiger Remobilisierung von Eu^{3+} . Mit CSH-Phasen als MSE-Säulenfüllmaterial kann ein durchlässiges CSH-zu-Sand-Verhältnis von 70 Gew % zu 30 Gew % erreicht werden. Erste Untersuchungen deuten eine Reversibilität durchgeführter Iodid-Injektionen an, was auf geringe Wechselwirkungen zwischen den Ionen und der stationären Phase schließen lässt.

Die zeitabhängige Retention eines endlagerrelevanten Elementgemischs (Waste-Cocktail aus Eu^{3+} , Cs^+ , UO_2^{2+} , I^-) an CSH-Phasen wurde bestimmt. Die Retentionsexperimente wurden über 8 Wochen, in denen sieben Beprobungen stattgefunden haben, mit zwei verschiedenen Ausgangskonzentrationen (500 nM und 10000 nM) in 0,1 M NaCl und in verdünnter Gipschlösung (VGL) durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausgangskonzentrationen, im Vergleich zur Ionenstärke des Hintergrundelektrolyten, keinen wesentlichen Einfluss auf die Retention der Elemente im Waste-Cocktail an CSH-Phasen hat. Bei hoher Ionenstärke (VGL) stellte sich sowohl für Eu^{3+} als auch für UO_2^{2+} innerhalb der ersten drei Tage ein Gleichgewicht ein, bei dem > 99 % von Eu^{3+} und UO_2^{2+} an CSH-Phasen zurückgehalten wurden. Bei Verwendung von 0,1 M NaCl-Lösung als Hintergrundelektrolyt werden Retentionswerte > 90 % nach insgesamt einer Woche erreicht. Für Cs^+ wird bei hoher Ionenstärke eine vollständige Retention an den CSH-Phasen in den ersten beiden Wochen nach Versuchsbeginn beobachtet. Die Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass der Retentionsprozess reversibel ist, so dass es nach zwei Wochen zu einem signifikanten Abfall der Retention (0 %) kommt. Untersuchungen in 0,1 M NaCl-Lösung haben gezeigt, dass keine Retention von Cs^+ an den CSH-Phasen vorliegt. Die Experimente zeigten zudem ein komplexes, irreversibles I^- -Retentionsverhalten sowohl in VLG als auch in 0,1 M NaCl. Zu Beginn der Versuchsreihe betrug die Retention bei hoher Ionenstärke ~90 %, in 0,1 M NaCl im Mittel 34 %. Innerhalb der ersten zwei Wochen fiel die Retention auf unter 10 %, um in den Wochen darauf wieder sukzessive auf den Anfangswert anzusteigen. Eine Ausnahme bildet I^- bei einer Konzentration von 10000 nmol/l in 0,1 M NaCl-Lösung. Nach 14 Tagen liegen > 99 % aller I^- Ionen irreversibel frei in Lösung vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Untersuchungszeitraum werden weiterführende Arbeiten zur Retention von einzelnen Elementen und Elementgemischen an CSH-Phasen in Batch-Versuchen durchgeführt. Zudem wird der Einfluss von PBTC während der CSH-Phasen Herstellung und nach Zugabe zum Hintergrundelektrolyt auf die Retention von Eu^{3+} , UO_2^{2+} , Cs^+ und I^- (einzeln und im Gemisch) untersucht. Die so gewonnenen Daten sollen mit den Ergebnissen der Versuche ohne Zementzusatzstoffe verglichen werden, um mögliche Effekte auf die Retention der endlagerrelevanten Elemente zu beurteilen. Des Weiteren sollen dynamische Sorptionsversuche der Metalle an CSH-Phasen mittels MSE durchgeführt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Brix, K., Hein, C., Haben, A., Kautenburger, R. (2019) Adsorption of caesium on raw Ca-bentonite in high saline solutions: Influence of concentration, mineral composition, other radionuclides and modelling. Applied Clay Science, 182, 105275.

Kautenburger, R., Brix, K., Hein, C. (2019) Insights into the retention behaviour of europium(III) and uranium(VI) onto Opalinus Clay influenced by pore water composition, temperature, pH and organic compounds, Applied Geochemistry, 109, 104404.

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 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 725.850,00 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

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

Modellierungen zur Sorption von Actinoiden an Tobermoritmodellen der C-S-H-Phasen (AP1.3) wurden für U(VI), U(IV) fortgesetzt und auf Cm(III) erweitert. Modellierungen zur Adsorption von U(VI) an (001)-Oberflächen wurden um Modelle mit C/S bis zu 1.2 erweitert. Ergänzende Optimierungen von U(IV) in 14 Å-Tobermorit mit C/S = 1 unter Variation der

Startgeometrien deuten darauf hin, dass mono- und bidentate Plätze an SiO_4 -Tetraedern nur metastabil sind. Neue Modellierungen zu Cm(III) in der Zwischenschicht von 14 Å-Tobermorit ergaben 5 mit anderen Actinoiden vergleichbare Sorptionsplätze und $\text{Cm}(\text{OH})^{2+}$ und $\text{Cm}(\text{OH})_2^+$ als Absorbate. Zum Vergleich wurde auch der Einbau von Cm(III) in die CaO-Schicht des Tobermorits untersucht. Austauschenergien gegen Ca^{2+} und Protonen deuten darauf hin, dass Absorption in der Zwischenschicht und Einbau in die CaO-Schicht beide vorkommen können. EXAFS-Messungen zu Nd und Eu ergaben eine geringere Zahl an An-Si und An-Ca-Kontakten als für den Einbau berechnet und stützen damit die Annahme, dass Absorption und Einbau beide vorliegen. Berechnete Koordinationszahlen von 6 und 7 sowie Cm-O-Abstände sind mit den EXAFS-Messungen verträglich. Mit der Modellierung exemplarischer Sorptionskomplexe von Cm(III) in 11 Å-Tobermorit wurde begonnen und ein Vergleich mit Messungen zu Am(III) des Projektpartners Dresden ist vorgesehen.

Modellierungen zu mehrkernigen U(VI)-Hydroxokomplexen (AP2.1) wurden in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Dresden-Rossendorf um Berechnungen zu ^{17}O -NMR-Verschiebungen ergänzt. Für einen Vergleich mit den experimentellen Resultaten des Projektpartners wurden Verschiebungen der Uranyl-sauerstoffe für das Aquaion, den Tricarbonatkomplex, den zweikernigen Dihydroxokomplex sowie exemplarische Isomere der mehrkernigen Spezies $(\text{UO}_2)_3\text{O}(\text{OH})_3^+$ und $(\text{UO}_2)_4(\text{OH})_7^+$ berechnet. Die gemessenen relativen Verschiebungen zwischen den mehrkernigen Komplexen wurden in den Rechnungen qualitativ sehr gut bestätigt. Diese Zusammenarbeit wird mit dem Ziel der Aufklärung des bereits berechneten Isomerenspektrums der mehrkernigen U(VI)-Hydroxokomplexe fortgeführt.

Arbeiten zu ternären Komplexen des Typs $\text{M-An}(\text{OH}, \text{CO}_3)$ mit Lösungskationen M (AP2.2) wurden auf die Komplexe $\text{Ca}_n\text{Am}(\text{OH})_m^{3+2n-m}$ ausgedehnt. Komplexe dieser Art wurden vom Projektpartner Karlsruhe zur Erklärung des Anstiegs der Löslichkeit von Nd und Cm bei sehr hohem pH vorgeschlagen. Die aufgrund von Experimenten vorgeschlagenen Komplexe konnten als stabil gegenüber Zerfall in $\text{Am}(\text{OH})_x^{3-x}$ und $\text{Ca}(\text{OH})_y^{2-y}$ und in ihrer Zusammensetzung bestätigt werden, wobei berechnete relative Komplexierungsenergien etwas höher ausfallen als aus dem Experiment abgeleitete. Die in den Modellierungen gefundene sinkende Koordinationszahl des Am-Ions sowie die wachsende Zahl verbrückenden OH-Liganden in der Komplexreihe lassen eine experimentelle Bestätigung der einzelnen Komplexe mittels Fluoreszenzspektroskopie als aussichtsreich erscheinen. Dieser Befund muss noch durch weitere Variationen der Koordinationszahlen abgesichert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

AP2.1: Hydroxide und Carbonate

AP2.2: Ternäre Komplexe mit Lösungskationen

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Gray, I. Chiorescu, S. Krüger, N. Rösch: Mononuclear Hydroxo Carbonato Complexes of Np(V), Np(VI), and U(VI): A Density Functional Study, *European Journal of Inorganic Chemistry* 2019 (2019) 4516

A. Kremleva, S. Krüger, N. Rösch: Quantum Chemical Modeling of U(VI) Sorption on Calcium Silicate Hydrate, Vortrag Migration 2019, 15.-20.9.2019, Kyoto, Japan

I. Chiorescu, A. Gray, S. Krüger, N. Rösch: Quantum chemical modeling of dimeric actinide complexes, Poster Migration 2019, 15.-20.9.2019, Kyoto, Japan

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 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 519.600,00 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) und 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
- Weiterentwicklung der Transienten-Absorptionsspektroskopie zur Untersuchung von U(VI)-Komplexen mit Modellliganden für Zementadditive und deren Abbauprodukten als auch Adaption des Messaufbaus zur Untersuchung von Sorptionsprozessen an eisenhaltigen Festphasen und der damit verbundenen Lumineszenzlöschung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Für eine detailliertere Untersuchung des Einflusses der Kontaktzeit auf die Interaktion zwischen Eu(III) mit Ca-Montmorillonit (AP2) wurde ein neuer Probensatz mit fest definierten Wechselwirkungszeiträumen zwischen einem und 90 Tagen vorbereitet. Zusätzliche Parameter stellen hierbei die Ionenstärke (Milli-Q-Wasser, 2.6 M NaCl-Lösung, verd. Gipshut-Lösung) und der pH-Wert (10-12) dar. Erste Ergebnisse aus zeitaufgelöster Laserspektroskopie (TRLFS) unter Tieftemperatur-Bedingungen (4 K) konkretisieren frühere Ergebnisse der oberflächensorbierten Eu(III) Spezies sowie des Einbaus in eine Sekundärphase. So konnte mittels paralleler Faktoranalyse (PARAFAC) spektral zwischen zwei oberflächensorbierten Eu(III)-Spezies unterschieden werden. Diese lassen sich der jeweiligen Kantensorption an die Aluminol- bzw. Silanol-Gruppen des Tons spezifisch zuordnen und unterscheiden sich sowohl in ihrem Lumineszenzabklingverhalten, als auch im Emissions- sowie Anregungsspektrum. Durch instrumentelle Optimierungen konnte eine bisher nicht nachweisbare, geringe Fraktion einer Eu(III)-Einbauspezies für einen pH-Wert von 11 ohne zusätzlichen Hintergrundelektrolyten spektral aufgelöst werden. Diese entspricht in ihrem Lumineszenzverhalten der bereits für höhere pH-Werte und/oder Ionenstärken nachgewiesenen Einbauspezies und stützt damit Annahme, dass mit steigenden pH-Werten, Ionenstärken sowie Kontaktzeiten die durch die Sekundärphase gebundenen Eu(III)-Ionen anteilig zunehmen, sich die Natur der Sekundärphase jedoch nicht wesentlich ändert.

Zur Vorbereitung von spektroelektrochemischen Messungen mittels der Transienten-Absorptionsspektroskopie (AP4) wurde eine dünne Glaskohlenstoffelektrode mit Loch zur Laser-Transmission gefertigt und wird derzeit in ersten Experimenten erprobt. Das Loch dient dann sowohl als Detektions- als auch Reaktionsvolumen bei Anlegung einer Spannung mit Gegenelektrode zur Untersuchung von Uran(IV) und Uran(V)-Spezies. Außerdem wurde als Vorexperiment U(VI) photochemisch ($\lambda_{\text{Ex}} = 250 \text{ nm}$) mittels 2-Propanol zu Uran(IV) reduziert. Es wurde erfolgreich eine kurzlebige, transiente Uran(IV)-Spezies detektiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Tieftemperatur TRLFS Messungen werden für den neuen Probensatz abgeschlossen. Mittels PARAFAC wird aus diesen Datensätzen ein Gesamtbild über die pH-Wert, Ionenstärke sowie Kontaktzeitabhängigkeit der beobachteten Eu(III)-Spezies in verschiedenen Ca-Montmorillonit- und CSH-Phasen abgeleitet werden. Abschließende Strukturuntersuchungen wie Raman-Spektroskopie und XRD werden Informationen über die Natur der beobachteten Sekundärphase in Mineralphasen geben. Untersuchungen des Lösmechanismus von Uranyl(VI) durch Fe(II) mittels Transienten-Absorptionsspektroskopie (AP4) stehen noch aus. Durchführung von Spektroelektrochemie zur Untersuchung von reduzierten Uranspezies ist in Vorbereitung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Burek, J. Dengler, F. Emmerling, I. Feldmann, M. Kumke, J. Stroh: „Lanthanide luminescence evincing the phase composition in hydrating cementitious systems. ChemistryOpen 8, pp 1441-1452 (2019)

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 31.05.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 323.098,00 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 Superplastifizierer, 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 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgung vom Karlsruher Institut für Technologie.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1: 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
- AP1.2: 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
- AP4.1: 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 $f(\text{pH}, I, \text{Medium})$

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

1. C-A-H-Phasen: Die Untersuchungen zu den Calcium-Aluminat-Hydratphasen (C-A-H) wurden fortgeführt. Die stabile Katoit-Phase (C_3AH_6) konnte erfolgreich hergestellt werden. Der Einfluss von Cl^- auf die Bildung der C-A-H-Phasen wurde mittels pXRD-, ICP-MS, FT-IR- und ^{27}Al -NMR-Messungen untersucht. Durch den Einbau von Cl^- in die Zwischenschicht ändert sich der Zwischen-schichtabstand, was die Änderung von XRD-Reflexen bis ca. $20^\circ 2\theta$ zur Folge hat. Das Molverhältnis Ca/Al ändert sich von 1.5 (Katoit) zu 2 (ICP-Messungen). In den ^{27}Al -NMR-Spektren wurde eine Verschiebung der ^{27}Al -Signale von 13ppm zu 10ppm mit steigendem Cl^- beobachtet, welches auf eine Änderung der oktaedrischen Umgebung um Al hinweist. Zusammengefasst kann die Bildung der Cl^- -haltigen LDH-Phase $Ca_4Al_2(OH)_{12}Cl_2$ (LDH: layered double hydroxide) bestätigt werden. Der Einfluss von $Eu(III)$ auf die Bildung der C-A-H-Phasen wurde bei konstanter Cl^- -Konzentration mit den oben genannten Methoden untersucht. In den pXRD-Beugungsmustern war erkennbar, dass ein amorpher Feststoff, höchstwahrscheinlich $Eu(OH)_3$ ausgefallen ist. FTIR-, ^{27}Al -NMR-Messungen und die über ICP-MS-Messungen errechneten Molverhältnisse zeigen, dass die gebildete Cl^- -haltige-LDH-Phase (siehe oben) durch Hinzugabe von Eu^{3+} (0 bis 50 mM Eu^{3+}) nicht bzw. nur leicht beeinflusst wird. In den ^{27}Al -NMR-Spektren ist bei allen Eu^{3+} -Konzentrationen eine oktaedrische Koordination des Al sichtbar. Die IR-Messungen zeigen keine Veränderungen der Al/CaO -H-Schwingungen und kein Carbonat in den Phasen.

Breite Peaks der F_0 -Anregungsspektren der Proben mit $Eu(III)$ deuten auf mehrere unterschiedliche Eu^{3+} -Spezies hin. Eine starke und vollständige Aufspaltung der F_1 - und F_2 -Banden in den Fluoreszenzspektren lässt auf das Vorliegen von unsymmetrisch koordinierten Eu^{3+} -Spezies schließen. Die Lebenszeiten in allen Proben liegen bei $\sim 230 \mu s$. Dies könnte auf sorbierte Eu^{3+} -Spezies bzw. auf einen (sorbierten) $Eu(III)$ hydroxid-Feststoff zurückzuführen sein.

Batchsorptionsexperimente mit Eu -152 und C -14 markiertem Malat wurden in Wasser/ $NaOH$ an Katoit durchgeführt. Es konnte eine hohe Sorption von Eu -152 an Katoit festgestellt werden ($\log K_d = 3,8 - 5,3$), die nicht von Malat beeinflusst wird und vergleichbar zu den C-S-H-Phasen ist. Die Sorption von Malat ist mit einem $\log K_d$ -Wert von 2 sehr gering und wird unter den hier angewandten Bedingungen nicht von Eu^{3+} beeinflusst, ähnlich wie es bei den C-S-H-Phasen der Fall ist.

2. C-S-H-Phasen: In Kooperation mit dem HZDR wurden die EXAFS-Spektren der $Am(III)/Am(III)$ -Mal dotierten C-S-H-Phasen mithilfe einer Kombination aus Monte-Carlo-Simulation und Target Transformation Faktoranalyse (TFA) zur genaueren Strukturaufklärung der inkorporierten $Am(III)$ -Spezies neu ausgewertet. Dabei wurden in verschiedenen XRD-Strukturen (Tobermorit, Britholit, Jennit etc.) $Ca(II)$ durch $Am(III)$ ersetzt und jeweils theoretische EXAFS-Spektren errechnet. Diese wurden als Referenz in der TFA genutzt. Der Fehler im Referenzspektrum war minimal, wenn $Nd(III)$ in Britholit durch $Am(III)$ ersetzt wurde. Dies ist ein starker Beweis dafür, dass die Britholitstruktur das beste Strukturmodell von inkorporierten $Am(III)$ in C-S-H Phasen darstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung des Einflusses von Mal bzw. Eu -Mal auf Bildung der LDH-Phasen mittels 1H -, ^{13}C -, ^{27}Al -NMR, IR und TRLFS
- weitere Experimente zur Charakterisierung der Sorption/Einbau von $Eu(III)$, $Eu(III)$ -Malat und $Eu(III)$ -Tartrat an/in Katoit und Ca - Al - Cl -LDH-Phasen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Poster: M. Acker, F. Taube, D.R. Föhlich, P.J. Panak, S. Taut, T. Stumpf: Thermodynamik studies of the complexation of lanthanide/actinide with cement superplasticizer by isothermal titration calorimetry.

Poster: F. Taube, T. Zimmermann, M. Acker, H. Förstendorf, S. Taut, T. Stumpf: Comparison of the Retention of $An(III)/Ln(III)$ on CSH and CAH phases under influence of malate. MIGRATION 2019, 15th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, September 15th-20th, 2019, Kyoto, Japan

F. Taube: Struktur und Thermodynamik von Komplexen dreiwertiger Lanthanide/Actinide mit Malat und deren Rückhaltung an Calciumsilikathydrat-Phasen, Dissertation, TU Dresden, November 2019

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 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 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 451.538,00 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: TRLFS Untersuchungen von Cm(III) mit ausgewählten niedermolekularen Liganden sowie makromolekularen Superplasticizern.

AP2: Komplexierung von Np(V) mit zementorganischen Liganden.

AP3: Untersuchungen zur radiolytischen Stabilität von verschiedenen Superplasticizern.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden Komplexierungsuntersuchungen von NpO_2^+ mit den Hydroxycarboxylaten Lactat, Malat und Tartrat im Temperaturbereich von 20 bis 85 °C und Ionenstärkebereich von 0.1 – 3.6 mol/kg durchgeführt. Die Speziation mittels UV/Vis zeigt, dass in allen Fällen $\text{NpO}_2(\text{L})_n^{1-2n}$ -Komplexe mit $n = 1, 2$ mit steigender Ligandkonzentration gebildet werden, wobei die bathochrome Verschiebung der Absorptionsbande des NpO_2^+ 4.5 ± 0.2 nm für jeden Komplexierungsschritt betrug. Die Stabilitätskonstanten bei 25 °C wurden zu $\log \beta^0_1 = 1.91 \pm 0.17$ (Lactat), $\beta^0_1 = 2.45 \pm 0.14$ (Malat), $\beta^0_1 = 1.99 \pm 0.07$ (Tartrat) und $\log \beta^0_2 = 2.09 \pm 0.13$ (Lactat), $\beta^0_2 = 2.25 \pm 0.30$ (Malat), $\beta^0_2 = 2.20 \pm 0.16$ (Tartrat) bestimmt. Diese verdeutlichen, dass sich die OH-Gruppen in Malat und Tartrat nur gering auf die Komplexstabilität auswirken. Die Daten sind vergleichbar mit den Ergebnissen für die Succinatkomplexe. Der Einfluss der Temperatur auf das thermodynamische Gleichgewicht der Komplexierungsreaktionen spiegelte sich in den Speziesverteilungen der einzelnen Systeme wieder. Dabei wurde für Malat und Tartrat eine Verschiebung des Komplexierungsgleichgewichts zu den komplexierten NpO_2^+ -Spezies mit steigender Temperatur beobachtet, während sich für Lactat eine entgegengesetzte Verschiebung des chemischen Gleichgewichts zum NpO_2^+ -Aquoion ergab. Diese Änderungen in der Speziation mit steigender Temperatur deuten darauf hin, dass die Komplexierung von Np(V) mit Lactat exotherm abläuft, während die Komplexierung mit Malat und Tartrat eine schwach endotherme Reaktionsenthalpie aufweist. Aus der Temperaturabhängigkeit der mit Hilfe der SIT berechneten thermodynamischen Stabilitätskonstanten $\log \beta_{0i}(T)$ wurden mit der integrierten Van't Hoff-Gleichung die Standardreaktionsenthalpien $\Delta_R H^0_{m,i}$ und -entropien $\Delta_R S^0_{m,i}$ der Komplexierungsreaktionen berechnet (Malat: $\Delta_R H^0_{m,1} = 6.3 \pm 0.4$ kJ mol⁻¹ und $\Delta_R H^0_{m,2} = 8.8 \pm 0.9$ kJ mol⁻¹, Tartrat: $\Delta_R H^0_{m,1} = 1.9 \pm 0.2$ kJ mol⁻¹ und $\Delta_R H^0_{m,2} = 4.4 \pm 0.5$ kJ mol⁻¹, Lactat: $\Delta_R H^0_{m,1} = -4.5 \pm 0.5$ kJ mol⁻¹ und $\Delta_R H^0_{m,2} = 6.0 \pm 0.4$ kJ mol⁻¹). Darüber hinaus wurden aus der Ionenstärkeabhängigkeit der verschiedenen Komplexierungsreaktionen die Ioneninteraktionskoeffizienten der jeweiligen Komplexe mit den verwendeten Hintergrundelektrolyten (NaCl und NaClO₄) bestimmt.

In Ergänzung zu den thermodynamischen Studien wurden Untersuchungen zur Strukturaufklärung der Dicarboxylatkomplexe (Oxalat, Malonat, Succinat) mittels EXAFS- und ATR-FT-IR-Spektroskopie sowie quantenchemischen Berechnungen durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass für die Komplexe des Ox^{2-} und Mal^{2-} die Liganden chelatisierend (*Side-On*) über beide COO^- -Gruppen an das NpO_2^+ koordinieren, *Succ*⁻ hingegen lediglich über eine COO^- -Gruppe (*End-On*) bindet. Die Ausbildung von Chelatkomplexen mit einem 7-Ring in der äquatorialen Ebene des NpO_2^+ -Ions mit *Succ*²⁻ ist somit nicht möglich. Diese Studien liefern wesentliche Ergebnisse zu den Komplexierungseigenschaften des NpO_2^+ und der Struktur der gebildeten Komplexe.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Publikation der thermodynamischen sowie strukturellen Daten zur Komplexierung von Np(V) mit Dicarboxylat- und α -Hydroxycarboxylatliganden.
- Strukturelle Untersuchungen der Np(V)-Lactat-Komplexe.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Maiwald, M. M., Skerencak-Frech, A., Panak, P. J.: The complexation and thermodynamics of Np(V) with dicarboxylic ligands, in preparation

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 31.03.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 676.496,00 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 (ZE) 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 erweiterte der ZE im AP2 die Modellierung der Verheilung von Steinsalz mit seinem Stoffmodell um die Abhängigkeit der Verheilungsrate von der mittleren Spannung. Mit der geänderten Formulierung rechnete er eine Reihe von Verheilungsversuchen aus dem TUC-Labor nach, um die Gültigkeit des neuen Moduls zu verifizieren und einen einheitlichen Satz von Parameterkennwerten für WIPP-Steinsalz aus den USA zu ermitteln. Mit dem weiterentwickelten CDM und diesen Kennwerten führte er anschließend eine Reihe von gemeinsam mit den Partnern definierten Modellsimulationen zur Richtungsabhängigkeit der Schädigung und Verheilung durch. Diese beschreibt das richtungsabhängige Öffnen und Schließen der Mikrorisse im Steinsalz als Folge unterschiedlicher Spannungsgeometrien.

Im Berichtszeitraum beteiligte sich der ZE an den Projektworkshops Nr. 19 am 04.-05.07. in Braunschweig und Nr. 20 am 03.-05.09. sowie Nr. 21 am 14.11. in Leipzig.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Vordergrund der weiteren Arbeiten des ZE werden in AP2 nach Vorliegen weiterer Verheilungsversuche die Weiterentwicklung der Schädigungs- und Verheilungsmodule im Stoffmodell CDM stehen. Im AP5 werden Simulationsberechnungen mit dem Virtuellen Demonstrator fortgeführt. Außerdem werden Berechnungen mit dem gemeinsam mit den Partnern erstellten zweiten Demonstratormodell zur intensiven Zugschädigung im untertägigen Steinsalz gestartet. Auf den weiteren Projektworkshops werden die Partner ihre Ergebnisse präsentieren und daraus folgende Arbeiten festlegen. Workshop Nr. 22 ist für den 27.-28.01.2020 in Goslar terminiert.

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 30.09.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.005.576,00 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. März 2019 erfolgte eine Verlängerung des Vorhabens bis 2021.

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 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

Im Berichtszeitraum führten die Partner vom 4. bis 5. Juli den 19. Projekt-Workshop in Braunschweig, vom 3. bis 4. September den 20. Projekt-Workshop in Leipzig und am 14. November den 21. Projekt-Workshop ebenfalls in Leipzig 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) sowie zur Ermittlung der Wirkung einer Vorschädigung auf das Zugversagen (AP3), wozu u. a. die Entwicklung und der Bau von drei neuartigen Versuchsständen für Kriechversuche erfolgte.

Auf den Projekt-Workshops wurden jeweils die neuesten Ergebnisse eines weiteren Kriechversuches auf einem älteren Kriechversuchsstand vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert. Mit diesem zusätzlichen Versuch wird bei konstanter Deviatorspannung von 4 MPa der Einfluss einer schrittweisen Temperaturabsenkung von 120 °C auf 40 °C sowie einer abschließenden Temperaturerhöhung auf 60 °C untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass mit dieser Art der Versuchsdurchführung die stationäre Kriechphase in jedem Temperaturschritt vergleichsweise schnell erreicht wird. In der vorerst letzten Versuchsphase mit einer hydrostatischen Einspannung von 20 MPa bei 60 °C konnten im Rahmen der Messgenauigkeit keine Kriechverformungen mehr gemessen werden. Dieser Versuch konnte mit dem G/S-Stoffmodell und guter Übereinstimmung nachgerechnet werden.

Die erste Versuchsserie an den neuartigen Kriechversuchsständen wurde entsprechend dem im Rahmen der Verlängerung des Projektes WEIMOS mit den Partnern abgestimmten Versuchsprogramm bei Deviatorspannungen von 2, 4 und 6 MPa zunächst weitergeführt. Ende 2019 wurden die Versuche bei 4 und 6 MPa wegen ungewöhnlich hoher Kriechraten ausgebaut. Da keine Besonderheiten an den Prüfkörpern festgestellt werden konnten, müssen die Messergebnisse auf die individuelle Ausbildung der Prüfkörper zurückgeführt werden.

Gleichzeitig wurden die Laborversuche zur Ermittlung des Einflusses einer Vorschädigung auf das Zugversagen an WIPP-Steinsalzprüfkörpern durchgeführt, die durch eine erhebliche Streuung der Ergebnisse infolge der Prüfkörperindividualität gekennzeichnet sind.

Außerdem verbesserte das IfG die Modellansätze zur Beschreibung des Verheilungsverhaltens auf der Basis der von TUC durchgeführten Laborversuche (AP2) weiter und validierte diese Ansätze durch Nachrechnungen der Versuche sowohl im Rahmen von Prüfkörpermodellen mit und ohne Krafteinleitung über Stahlplatten als auch im Rahmen von Würfelmodellen.

Weiterhin hat das IfG im Berichtszeitraum verbesserte Modellierungen mit dem virtuellen Demonstrator (AP5) realisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im 1. Halbjahr 2020 werden die beiden abgebrochenen Kriechversuchen an WIPP-Steinsalzprüfkörpern in Absprache mit den Partnern bei Deviatorspannungen von 1 und 3 MPa mit frischen Prüfkörpern erneut gestartet.

Die numerischen Arbeiten zum Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastung, zur Verheilung sowie mit dem virtuellen Demonstrator werden 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 30.09.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 490.473,00 EUR	Projektleiter: Dr. Zapf	

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 hat der Zuwendungsempfänger mit dem von ihm verwendeten und während der Projektlaufzeit weiterentwickelten Stoffmodell Lubby-CF weiterführende Simulationsberechnungen an einem 9-Element-Würfelmodell durchgeführt und die richtungsabhängige Beschreibung des Schädigungs- und Verheilungsverhalten vom Stoffmodell Lubby-CF tiefgreifender analysiert. Des Weiteren wurden Nachberechnungen von Verheilungsversuchen und am Virtuellen Demonstrator durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird weiterhin an den Workshops teilnehmen. Die Simulationsberechnungen an einem Würfelmodell sollen weitergeführt und die Ergebnisse mit den Projektpartnern diskutiert werden. Weiterhin sollen weitere Berechnungen zum virtuellen Demonstrator durchgeführt werden. Des Weiteren wird der Zuwendungsempfänger am neuen virtuellen Demonstrator II arbeiten und hierfür ein Modell erstellen und erste Berechnungen durchführen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Universitätsplatz 2, 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 30.09.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 400.307,00 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 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 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 Workshops in Braunschweig (04.-05.07.) und Leipzig (03.-04.09. und 14.11.) durchgeführt. Außerdem fand ein kombinierter Workshop mit dem Projekt KOMPASS in Leipzig (05.09.) statt. An den Tagen der Standortauswahl in Braunschweig (12.-14.12.) war der Zuwendungsempfänger mit einem Poster zum Projekt vertreten.

Im Berichtszeitraum wurde der Verheilungsansatz modifiziert. Die Verheilungsrate hängt nun stärker von der Oktaedernormalspannung ab. Mit der Modifikation wurden die Verheilungs-serien 1 bis 3 erneut nachgerechnet und auch die Berechnungen am Würfelmodell wiederholt.

Der Zuwendungsempfänger stellte die Berechnungsergebnisse der Partner der Nachrechnung der Verheilungsversuche zusammen.

Mit dem Modell des Virtuellen Demonstrators der LUH wurden Berechnungen durchgeführt, die allerdings ab Einbau des Damms zu numerischen Problemen führen. Diese konnten behoben werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Um eine bessere Vergleichbarkeit der jeweiligen Ergebnisse der Partner hinsichtlich der Verheilung zu erhalten, wird bei vier Versuchen die Dauer der Schädigungsphase so angepasst, dass eine definierte Schädigung erreicht wird. Anschließend startet die Verheilung.

Des Weiteren zeigt sich innerhalb der Workshops, dass die Darstellung der Berechnungsergebnisse der Partner zu den Verheilungsversuchen stets Optimierungspotential aufweist. Hier werden die Darstellungen entsprechend der letzten Erkenntnisse angepasst.

Da eine erste Variante des Virtuellen Demonstrator berechnet werden konnte, werden nun weitere Varianten berechnet sowie deren Ergebnisse überprüft und verglichen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Epkenhans, I.; Wacker, S.; Stahlmann, J. (2019): WEIMOS - Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz. Tage der Standortauswahl, 13.-14.12.2019, Braunschweig

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 30.09.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 784.171,00 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 03./04. September in Leipzig sowie am 14. November in Leipzig die Projekt-Workshops 20 bis 21 durch. Auf dem 20. Workshop mit Teilnahme des assoziierten Projektpartners Sandia National Laboratories Albuquerque wurden aktuelle Projektthemen sowie die WEIMOS-Präsentationen in Leipzig diskutiert. Auf den Workshops wurden von den Partnern aktuelle Projektthemen mit Fokussierung auf Arbeiten im AP2 vorgestellt und diskutiert. Auf den Workshops in Leipzig stellte der Zuwendungsempfänger in diesem Zusammenhang die laborativen Arbeiten zur Schädigungsrückbildung vor. Dabei wurde die vierte Versuchsserie, wie zuvor auf dem 18. Workshop vereinbart, im Juli des Berichtszeitraums gestartet. Bei der vierten Serie sind 4 Varianten (4a), 4b), 4c) und 4d)) geplant, um das Verheilungsverhalten unter gleicher mittlerer Beanspruchung zu untersuchen. Um Messungenauigkeiten hinsichtlich der Dilatanzmessung weitestgehend vorzubeugen, werden bei dieser Serie die vier Varianten jeweils mit vier Verheilungsversuchen zum gleichen Zeitpunkt und mit einer gleichen Belastungsgeschichte durchgeführt, so dass die Arbeit des Druckregelungssystems, das mit allen vier Anlagen über den gleichen Druckzylinder verbunden ist, reduziert wird. Im Berichtszeitraum wurde Serie 4a) beendet und Serie 4b) wurde gestartet. Darüber hinaus wurden Festigkeitsversuche an Salzprüfkörpern, die bei der dritten Serie geschädigt und verheilt wurden, durchgeführt. Dadurch soll die Festigkeit und Dilatanzfestigkeit der ungeschädigten und vorgeschädigten Salzprüfkörper verglichen werden. Darüber hinaus wurde auf den Workshops 20 und 21 die Stoffmodellfunktionalität in ihrer Schädigungs- und Schädigungsrückbildungswirkung durch Simulationen eines würfelförmigen Berechnungsmodells mit verschiedenen Beanspruchungszuständen durchgeführt und die Ergebnisse zwischen den Projektpartnern verglichen und diskutiert. Dabei wurde der Schädigungsrückbildungsansatz modifiziert.

Ein Zugansatz wurde im Berichtszeitraum in das Stoffmodell *Lux/Wolters* hinzugefügt, um die Schädigungsentwicklung unter Zugspannung sowie das zeitabhängigen Zugspannungsversagen (AP3) zu beschreiben. Darüber hinaus wurden numerische Simulationen eines Biegebalkenversagens jeweils mit einer und zwei Auflast-Punkten durchgeführt, um die Stoffmodellfunktionalität bei Zugspannungsversagen zu prüfen.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Berechnungen mit verschiedenen Simulationsmethoden zum virtuellen Demonstrator (AP5) durchgeführt, um auffällige numerische Effekte zu analysieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird weitere numerische Simulationen zum Virtuellen Demonstrator (AP5) durchführen und die erfolgten laborativen Arbeiten auf einem Workshop im Januar 2020 präsentieren. Darüber hinaus werden Zugfestigkeitsversuche von vorgeschädigten Salzprüfkörpern durchgeführt.

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 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.079.805,00 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 zugrundeliegende 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 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 werden in allen Programmentwicklungsphasen durchgeführt. Die folgenden QS-Maßnahmen werden umgesetzt: Standardisierung der Arbeitsprozesse, Versions- und Konfigurationsmanagement, Release-Freigabe, 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

Arbeitspaket 1

Zur Erweiterung des Kenntnisstandes insbesondere auf dem Gebiet von THMC-Prozessen speziell im Kontext von Endlagerung wurde am Decovalex 2019 Symposium 4.-5. November sowie am darauffolgenden Workshop am 6. November in Brugg (Schweiz) teilgenommen. Im Rahmen dieser Veranstaltung wurden auch Perspektiven über eine potentielle Zusammenarbeit mit einigen Teilnehmern diskutiert.

Es wurden neue Anforderungen an die grafische Benutzeroberfläche XENIA diskutiert und ausformuliert. In der aktuellen Version sind die Eingabemasken in XENIA komplett statisch, d. h. eine Rückwirkung von bereits eingegebenen Daten auf die Struktur der Objekte und Attribute ist nicht möglich. Diese Einschränkung erweist sich insbesondere bei komplexeren Programmen zunehmend als hinderlich bei der Nutzung von XENIA. Deshalb sollen geeignete Möglichkeiten geschaffen werden, die Oberfläche dynamisch und kontextsensitiv an spezielle Erfordernisse anzupassen.

Arbeitspaket 2

Folgende Konzepte wurden ausgearbeitet:

- Modelle zur Zeitschrittsteuerung: konstante und adaptive Zeitschrittlänge,
- Integrierung von unterschiedlichen Modellen für die Dichte der nicht benetzenden Phase: konstante Dichte, Dichte berechnete nach dem idealen Gasgesetz,
- Programmtechnische Realisierung von Dirichlet- und Neumann-Randbedingungen,
- Unterschiedliche Konvergenzkriterien bei Newton-Raphson-Iterationen,
- Update-Verfahren für sekundäre Variablen/Größen.

Es wurden Konzepte zur Behandlung spezieller Probleme entwickelt:

- Verfahren bei unphysikalischen Zwischenergebnissen,
- Nicht-Konvergenz einer Lösung.

Es wurden Möglichkeiten zur Rechengittergenerierung sowie zur Visualisierung der Rechenergebnisse evaluiert. XENIA-Module, die für die Definition eines Nahfeld-Rechenlaufs erforderlich sind, wurden weiterentwickelt.

Arbeitspaket 3

Die im Arbeitspaket 2 beschriebenen Konzepte wurden umgesetzt.

Die Umsetzung von bereits existierenden Konzepten wurde fortgesetzt.

Arbeitspaket 4

Es wurden umfangreiche Testrechnungen bezüglich bereits umgesetzter Aspekte durchgeführt. Der umgesetzte Prozess Zwei-Phasen-Fluss wurde anhand analytischer Lösung zum Buckley-Leverett-Problem und semianalytischer Lösung zum McWhorter-Problem verifiziert. Die vorhandene Bibliothek von automatischen Testfällen wurde entsprechend aktueller Entwicklung angepasst und durch neue Testfälle erweitert.

Die entwickelten Konzepte, die zugrundeliegenden Entscheidungen sowie der Projektfortschritt wurden dokumentiert.

Arbeitspaket 6

Der vorliegende Bericht sowie der Jahresbericht wurden erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Halbjahr soll überwiegend an AP2 und AP3 gearbeitet werden, wobei der Schwerpunkt bei der Umsetzung des Schadstofftransports liegen soll.

Die Arbeiten zur Bereitstellung eines Rechengittergenerators werden fortgeführt.

Erkannte Unzulänglichkeiten des Moduls Combiner sind zu beseitigen, weiterhin soll es auch die Ausgaben von Biosphärenrechnungen verarbeiten können. Das Modul ist zu dokumentieren.

Die Arbeiten zur Anbindung des Codes SobolHDMR werden fortgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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 30.09.2019		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.09.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.023.480,00 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

- Die Arbeiten zum Long-Term Diffusion Experiment (LTDE, Task 9b) wurden abgeschlossen. Die Messdaten konnten konsistent durch ein Transportmodell mit Diffusion und linearer Sorption erklärt werden. Mit einem homogenen Modell war dies nicht möglich. Unter

Einbeziehung einer dünnen Zone am Zustromrand mit anderen Materialeigenschaften ist eine Modellanpassung an die Daten jedoch gelungen. Ein entsprechender Berichtsteil für den Abschlussbericht wurde erstellt.

AP1.2: Site Descriptive Model (SDM) für Äspö

- Die Modellrechnungen an einem regionalen vertikalen 2D-Schnitt wurden unter Berücksichtigung der freien Grundwasseroberfläche in Kombination mit eindringendem Meerwasser, Grundwasserneubildung und Vorflutern fertiggestellt.
- Die 3D-Modellgeometrie für das Regionalmodell wurde fertiggestellt und Berechnungen der Grundwasserströmung durchgeführt.

AP1.3: Deckgebirge der WIPP Site, New Mexico

- Die Berechnung der dichtegetriebenen Grundwasserströmung wurde abgeschlossen.

AP1.4: Strömung und Transport im Kristallin für einen potentiellen Endlagerstandort in Tschechien

- Das in enger Anlehnung an das Modell von SÚRAO aufgebaute Regionalmodell Čihadlo wurde kalibriert. Die Ergebnisse wurden beim deutsch-tschechischen Workshop am 18.-20.11.2019 vorgestellt und mit den Kollegen von PROGEO und SÚRAO diskutiert.

AP4: Projektleitung

- Das sechste Projektstatusgespräch fand am 28.06.2019 bei der GRS in Braunschweig statt. Dabei wurde der aktuelle Stand der Arbeiten vorgestellt sowie die zeitliche Planung der restlichen Arbeiten und der Erstellung des Abschlussberichtes besprochen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1.4: Übermittlung der Resultate des überarbeiteten Modells an PROGEO

AP4: Der Projekt-Abschlussbericht wird fertiggestellt.

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 31.07.2019	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.07.2019	
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 in d^3f^{++}

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Anwendungs- und Vergleichsrechnungen

Die Arbeiten in AP1 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wird geschrieben.

AP2: Erweiterung des Anwendungsbereichs von d^3f^{++}

In der Implementierung der niederdimensionalen Klüfte wurden für den Transportteil von d^3f^{++} noch einige Korrekturen gemacht und die dort bisher fehlende Implementierung singulärer Quellen nachgetragen.

Die Arbeiten in AP2 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wird geschrieben.

AP3: Weiterentwicklung der Lösungsverfahren in d^3f^{++}

Zur Kalibrierung freier Oberflächen wurde ein Software-Prototyp entwickelt. Dieser unterstützt sowohl Potentialströmungen als auch dichtegetriebene Strömungen. Zielgröße dabei ist der Grundwasserspiegel. Die zugehörigen quadratischen Minimierungsprobleme können dabei frei formuliert werden. Zudem werden Sensitivitäten bestimmt. Getestet wurde diese Weiterentwicklung anhand künstlicher Daten in 2D/3D sowie für einen Feldfall in 2D.

Der LIMEX-Zeitintegrator wurde nun so in die Software integriert, dass er für alle Probleme mit reiner Dichteströmung verfügbar ist. Probleme mit freier Oberfläche können so über die Richards'-Gleichung behandelt werden. Das Verfahren erweist sich insgesamt als robust und effizient. In jenen Fällen, in denen die Leitfähigkeit nicht mehr Lipschitz-stetig ist, tritt eine Oszillation der Zeitschritte auf. Dies ist analytisch zu erwarten und tritt zudem auch beim klassischen Newton-Mehrgitter-Ansatz auf.

Die Arbeiten in AP3 wurden abgeschlossen. Der entsprechende Beitrag zum Abschlussbericht wird geschrieben.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

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 + Endlagertechnik, Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 469.799,00 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 BGE 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

- AP2: Es wurden keine Arbeiten in diesem AP im zweiten Halbjahr 2019 durchgeführt.
- AP3: Der FEP-Katalog wurde um die FEP für das neue Teilsystem „Übertägige Anlagen“ erweitert. Die Ableitung der EVI für alle Teilsysteme wurde abgeschlossen und in einem Berichtsentwurf dokumentiert. Die Ableitung der EVI wurde um die Möglichkeit erweitert, auch Kombination von EVI zu berücksichtigen. Diskussion der Ergebnisse mit der BGE TECHNOLOGY in gemeinsamen Gesprächen am 3.7., 19.8., 20.8., 23.9., 21.10., 13.11., 14.11., 3.12. und 9.12.2019.
- AP4: Es erfolgte eine Bewertung der neuen FEP und EVI hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Langzeitsicherheit. Dokumentation der Bewertung in der FEP-Liste und der FEP-Tabelle.
- AP6: Die Arbeiten in AP6 (Synthese) wurden noch nicht begonnen. Die Arbeiten zu AP1 und AP5 (Überprüfung der Ergebnisse am Ende des Vorhabens) sind abgeschlossen.
- AP7: Vorstellung der Ergebnisse aus dem Vorhaben BASEL auf der Sitzung der Expert Group on Operational Safety (EGOS) der OECD/NEA am 8.10.19 in Paris.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Erarbeitung der Grundzüge eines Sicherheitskonzeptes für die Betriebsphase.
- AP4: Identifizierung von Maßnahmen zur Vermeidung und Reduzierung der Konsequenzen der abgeleiteten EVI (alle Teilsysteme).
- AP6: Synthese aus den AP2 bis AP5, Erarbeitung von Empfehlungen zum methodischen Vorgehen zur Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit.
- AP7: Fertigstellung der Dokumentation der Arbeiten in dem Berichtsentwurf „Ableitung von Einwirkungen von Innen für die Betriebsphase für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle“. Dokumentation der Arbeiten im Abschlussbericht zum Vorhaben BASEL.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE 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 + Endlagertechnik, Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2016 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 598.901,22 EUR	Projektleiter: Dr. Lommerzheim	

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 BGE 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 der über- und untertägigen Anlagen
 - AP3: Zusammenstellung eines Kataloges mit FEP beim Bau und Betrieb eines Endlagers (umfasst nach der Aufstockung über- und untertägige Anlagen)
 - 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 (Fortführung der Methodenentwicklung im Zuge der Aufstockung)
 - AP7: Dokumentation
- BGE TECHNOLOGY GmbH ist federführend für die Arbeitspakete 2, 3 und 5.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die technischen Beschreibungen der übertägigen Anlagen und der Betriebsabläufe für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente (HAW) in den Wirtsgesteinen (Salz, Ton und Kristallin) wurden vervollständigt und mit GRS diskutiert.
- AP3: Die FEP-Liste für die Betriebsphase der übertägigen Anlagen wurde entsprechend der Systembeschreibungen und Beschreibungen der Betriebsabläufe erstellt und mit GRS diskutiert. Mit der Vervollständigung des FEP-Katalogs wurde begonnen.
- AP4: Es wurde damit begonnen, technische und organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Reduzierung der Konsequenzen von EVI zu identifizieren.
- AP6: Die Methodik zur systematischen Ableitung von Einwirkung von Innen (EVI) wurde auf der Grundlage einer Verknüpfung von EVI und Prozesse, von zwei EVI bzw. einem EVI und einem EVA (Einwirkung von außen) weiterentwickelt.
- AP7: Die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten wurden in den Entwurf des Abschlussberichtes integriert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Der FEP-Katalog soll durch Komponenten und Prozesse für die übertägigen Anlagen eines Endlagers vervollständigt werden. Auf Grundlage dieses FEP-Katalogs sollen dann die EVI für die Übertageanlagen systematisch abgeleitet werden. Außerdem werden weitere EVI aufgrund neuer methodischer Ansätze (Verknüpfung EVI/Prozess, EVI/EVI und EVI/EVA) abgeleitet.
- AP4. Technische und organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Reduzierung der Konsequenzen von EVI sollen identifiziert und diskutiert werden.
- AP5: Die Bewertung der Nachverschlussphase hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen auf den sicheren Betrieb eines Endlagers soll fortgeführt werden.
- AP7: Die Berichtserstellung zum Gesamtvorhaben BASEL wird fortgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Noseck, U., Lommerzheim, A., Wolf, J., Bertrams, N., Bollingerfehr, W., Förster, B., Herold, P., Leonard, J., Filbert, W. & Prignitz, S. (2019): Investigation of the Impacts of the Operational Phase on Post-Closure Safety by a FEP Analysis. GEOSAF (Part III) – Third Plenary Meeting, Vienna, Austria, 24 to 28 June 2019

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 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.008.044,00 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. Dieses Vorhaben leistet 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: Elektrochemische Untersuchungen
- AP3: Chemische und Morphologische Charakterisierung
- AP4: Koordination des Verbundvorhabens
- AP5: Kombinierte elektrochemische Versuche mit Synchrotron XPS-Analysen
- AP6: Vorexperimente zur Korrosion in Porenwasser-Bentonit-Milieus

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Elektrochemische Untersuchungen

Polarisationskurven von Edelstahl AISI 309S in NaCl-Lösungen mit unterschiedlichen pH-Werten und mit und ohne 0.1 M Na₂SO₄ wurden systematisch durchgeführt. Einen Übergang von einer lokalen Korrosionsform in Experimenten mit alkalinen und neutralen Lösungen zu einer flachen Korrosion bei sauren NaCl-Lösungen wurde festgestellt. Diese Experimente bestätigen den formulierten Korrosionsmechanismus, der auf der Bildung einer sauren Front während der Ausbreitung von Korrosionsmulden basiert. Der lokale Säuerungseffekt erfolgt durch eine starke Hydrolyse des aufgelösten Chroms. Sulfationen spielen hier eine fundamen-

tale Rolle, da diese die Auflösung und den anschließenden Durchbruch der Passivschicht in sauren Chloridlösungen inhibieren. Daher ist hier eine konkurrierende Adsorption von Chlorid- und Sulfationen auf der Cr(III)-Oxidschicht als entscheidender Faktor für den Fortschritt des Korrosionsprozesses anzunehmen.

AP3: Chemische und Morphologische Charakterisierung

Die Morphologie und die chemische Zusammensetzung der Oberfläche von Stahlproben wurden nach den elektrochemischen Experimenten mittels REM-EDX und XPS untersucht. Die Analysen wurden am KIT durchgeführt und zusammen ausgewertet.

Komplementäre Untersuchungen der kristallographischen Struktur des Stahls mittels SEM, TEM und Lichtmikroskopie von Querschnitten der Stahlproben nach der Korrosion in Q3-Lösungen wurden dem Institut für Werkstoffkunde im Auftrag gegeben. Diese Experimente werden ermöglichen, den Einfluss der kristallographischen Struktur des Stahls auf der Korrosionsdynamik aufzuklären.

Ergänzende Information über den Auflösungsprozess während der Korrosion wurde durch chemische Analyse der Lösung ermittelt. Nach einer vollständigen Kalibrierung von UV-Vis-Spektren von Fe(II)-, Ni(II)- und Cr(III)-enthaltenden Q3-Lösungen wurden Lösungen nach Korrosionsuntersuchungen von Stahl 309S in Q3-Lösungen eingeleitet. Zudem wurden ICP-OES und die Bestimmung von Fe(II) und Fe(III) nach DIN 38406 unserem Labor in Auftrag gegeben.

AP5: Kombinierte elektrochemische Versuche mit Synchrotron XPS-Analysen

Erste Analyse der spektroskopischen Ergebnisse an der SoLias-Anlage in Bessy II zeigen die Bildung eines schützenden Passivfilms aus Cr(III)-oxid über den Fe(II,III)-Oxidprodukten. Dieser Film wächst während der anodischen Polarisierung bis zu seinem Durchbruch. Mit der Erkennung von Chlor und Sulfat auf der Oberfläche lässt sich die Annahme einer konkurrierenden Adsorption auf Chromoxid als Schlüssel für den Durchbruch der Passivschicht bestätigen.

AP6: Vorexperimente zur Korrosion in Porenwasser-Bentonit-Milieus

Eine Zelle für die Korrosionsuntersuchung von Stahl in Kontakt mit gesättigten Bentonit wurde zusammen mit dem Institut für Werkstoffkunde entworfen und die ihre Anfertigung wird Ende 2019 erfolgen. Diese besteht aus drei Modulen. Jedes Modul beinhaltet eine drei-Elektroden-Zelle mit einem Pt-Sensor nah an der korrodierenden Oberfläche zu Untersuchungen von lokalen Änderungen des pH-Wertes. Die Zellen werden mit einem Wassermantel thermostatisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Vervollständigung der Korrosionsuntersuchungen von Stahl im Porenwasser und in Kontakt mit Bentonit mithilfe der neuen konstruierten Zelle
- Erstellung des Endberichtes

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 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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 Oberflächenmorphologie charakterisiert werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens ist es, die Rückhaltung von Radionukliden an synthetischen, gut charakterisierten Referenzeisenkorrosionsprodukte 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: Potentiodynamische Messungen zeigen ein niedrigeres Korrosionspotential (E_{corr}) für den C-Stahl als für den CrNi-Stahl. C-Stahl korrodiert gleichmäßig, während CrNi-Stahl passiviert und Lochfraßkorrosion zeigt. Zyklovoltammetrische (ZV) Experimente wurden durchgeführt um die Bildung/Umwandlung der Oxidschicht zu verfolgen. Für den CrNi-Stahl, steigt, nachdem die Bildung von Löchern begonnen hat, der Strom auf der kathodischen Seite auf Grund der Bildung von

Korrosionsprodukten im Loch. Dieses zeigt, dass die Oxid Bildung/Umwandlung hauptsächlich im Loch selbst stattfindet.

AP2: Die Korrosionsexperimente (Autoklaven) bei niedriger Ionenstärke (0.1 mol/L) unter anoxischen Bedingungen und bei 90 °C wurden abgeschlossen. Ergebnisse zeigen keinen Einfluss des Salztyps bei gleicher Ionenstärke. Magnetit bildet sich als Korrosionsprodukt des C-Stahls. Beim CrNi-Stahl sind Korrosionsschäden geringer und als Korrosionsprodukt wird Cr_2O_3 gebildet. Langzeitkorrosionsexperimente (12 Monate) bei Raumtemperatur wurden ebenfalls abgeschlossen. Beim C-Stahl bildet sich in MgCl_2 Lösung Fe-Hydroxichlorid als Korrosionsprodukt (identisch wie bei 90 °C), während sich Grüner-Rost-(Chlorid) in NaCl Lösungen bildet. Die Korrosionsrate in NaCl und MgCl_2 liegt bei ca. 1 $\mu\text{m/a}$. In beiden Lösungen konnte für den CrNi-Stahl kein signifikanter Korrosionsschaden beobachtet werden.

Eu(III) Sorptionsexperimente wurden in Abhängigkeit von der Ionenstärke an verschiedenen Fe-Korrosionsphasen durchgeführt. Die Eu Sorption an Grüner-Rost-(Chlorid) ist im Bereich pH 7-9 nahezu quantitativ, wobei kein Effekt der Ionenstärke festgestellt werden konnte. Die Sorption an Cr_2O_3 steigt mit dem pH an und wird leicht von der Ionenstärke beeinflusst. Für NiFe_2O_4 wurden die Eu Sorptionsdaten erfolgreich modelliert. Das Sorptionsverhalten von Eu(III) an NiFe_2O_4 ist sehr ähnlich zu Fe_3O_4 (Magnetit), wobei in den Experimenten kein signifikanter Effekt des Ni festgestellt werden konnte.

Es wurden begleitende quantenchemische Analysen (DFT) zur theoretischen Untersuchung des Einbaus von dreiwertige Lanthaniden und Actiniden in GR(Cl) durchgeführt.

Im Rahmen der Verlängerungsphase von CORSO wurden C-Stahl und CrNi-Stahl bei Kontakt mit Ton unter anoxischen Bedingungen bei 65 °C korrodiert. Parallelversuche wurden nach 1, 2 und 6 Monaten geöffnet und die Proben analysiert. Die Datenauswertung hat begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Es sollen für ausgewählte Proben anodische Potentiale ausgewählt und potentiostatische Polarisation angelegt werden um das Wachstum der Oxidschicht zu erhöhen. Die resultierende Oberfläche soll detailliert analysiert werden um das Verständnis der Entwicklung der Schichtbildung auf der Oberfläche zu verbessern und zudem die Entwicklung der Oxidation modellieren zu können.

AP2: Magnetit und weißer Rost sollen in Anwesenheit und Abwesenheit von Eu(III) bei verschiedenen Ionenstärken unter anoxischen Bedingungen und Raumtemperatur synthetisiert und gealtert werden. Nach unterschiedlicher Kontaktzeit werden die Proben analysiert.

Es sind keine weiteren Langzeitkorrosionsexperimente oder Experimente zur Radionuklidrückhaltung an den vorliegenden Festphasen geplant. Ein Manuskript über die Korrosionsexperimente ist in Vorbereitung. Die innerhalb von CORSO angefertigte Doktorarbeit von Frau Morelová soll fertiggeschrieben und verteidigt werden.

Es sind keine weiteren thermodynamischen Untersuchungen (DFT) geplant.

Die Datenauswertung der Korrosionsversuche im Kontakt mit Ton soll abgeschlossen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein Manuskript von N. Morelová et al.: "Sorption of americium/europium onto magnetite under saline conditions: Batch experiments, surface complexation modeling and X-ray absorption spectroscopy study" wurde akzeptiert (J. Colloid Interface Sci. 561, 708-718)

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11527
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2017 bis 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 598.180,67 EUR	Projektleiter: Bollingerfehr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben KoBra hat zum Ziel, unter Berücksichtigung des geltenden gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerkes die Anforderungen an Endlagerbehälter für die Gewährleistung eines sicheren über- und untertägigen Betriebes eines HAW-Endlagers in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein sowie eines sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelemente herzuleiten, Umsetzungsmöglichkeiten anhand von generischen Behälterkonzepten darzustellen sowie die Auswirkungen entsprechender Designentscheidungen auf die Gestaltung der Endlagersysteme abzuschätzen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aufarbeitung des nationalen und internationalen Standes zu bereits existierenden Anforderungen und Konzepten für Endlagerbehälter und Zusammenstellung sicherheitsrelevanter Behältereigenschaften
- AP2: Ermittlung der behälterrelevanten Randbedingungen und Beanspruchungsgrößen für Endlagerbehälter in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein in Deutschland
- AP3: Herleitung und Zusammenstellung der Anforderungen an Endlagerbehälter für ein HAW-Endlager in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein
- AP4: Erarbeitung von Vorschlägen für mögliche Behälterkonzepte in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein
- AP5: Dokumentation und Abschlussbericht

Die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) ist federführend zuständig für AP1 und AP4 (FKZ: 02 E 11537), die BGE TECHNOLOGY GmbH für AP2 und AP3; AP5 wird gemeinsam von beiden Partnern bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In regelmäßigen Projektgesprächen (20.6., 05.09., 4.11., und 4.12.2019) sowie in einer Telefonkonferenz (12.07.2019) wurde der Arbeitsfortschritt mit dem Partner BAM ausgetauscht, diskutiert und das weitere Vorgehen abgestimmt. Schwerpunkte im Berichtszeitraum waren die Kommentierung der Berichtsentwürfe der Partner und die Fertigstellung der Berichtsentwürfe.

Der abgeschlossene und abgestimmte Bericht zum AP2 "Ermittlung der behälterrelevanten Randbedingungen und Beanspruchungsgrößen für Endlagerbehälter in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein in Deutschland" wurde BGE TECHNOLOGY intern geprüft und freigegeben.

Die Hinweise und Anmerkungen des Partners BAM wurden in den Bericht zum AP3 "Herleitung und Zusammenstellung der Anforderungen an Endlagerbehälter für ein HAW-Endlager in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein" eingearbeitet. Der vollständige Berichtsentwurf wurde danach in die interne Freigabe gegeben.

Anhand der abgestimmten Struktur und Inhalte des Syntheseberichtes (AP5) wurden die ersten Texte für die Kapitel "Randbedingungen und Beanspruchungsgrößen (AP2)" sowie "Herleitung und Zusammenstellung der Anforderungen (AP3)" im Entwurf geschrieben und dem Partner BAM zur Diskussion und Kommentierung zugesandt. Ebenso wurden die Beiträge der BAM kommentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für den 19.2.2020 wurde in Abstimmung mit BMWi und PTKA ein weiteres Informationsgespräch mit Externen vereinbart. Die Vorhabensergebnisse sollen präsentiert und mit den Gästen diskutiert werden. Anregungen und Hinweise daraus sollen in den Synthesebericht aufgenommen werden. Entsprechende Vorträge und Poster werden dazu von BGE TECHNOLOGY als auch von BAM vorbereitet.

Darüber hinaus wird der Arbeitsschwerpunkt für BGE TECHNOLOGY GmbH darin bestehen, die AP-Berichte zu finalisieren und zusammen mit der BAM den gemeinsamen Synthesebericht zu erstellen und abzustimmen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin		Förderkennzeichen: 02 E 11537
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2017 bis 30.04.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 188.990,00 EUR	Projektleiter: Dr. Völzke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben KoBra hat zum Ziel, unter Berücksichtigung des geltenden gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerkes die Anforderungen an Endlagerbehälter für die Gewährleistung eines sicheren über- und untertägigen Betriebes eines HAW-Endlagers in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein sowie eines sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelemente herzuleiten, Umsetzungsmöglichkeiten anhand von generischen Behälterkonzepten darzustellen sowie die Auswirkungen entsprechender Designentscheidungen auf die Gestaltung der Endlagersysteme abzuschätzen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aufarbeitung des nationalen und internationalen Standes zu bereits existierenden Anforderungen und Konzepten für Endlagerbehälter und Zusammenstellung sicherheitsrelevanter Behältereigenschaften
- AP2: Ermittlung der behälterrelevanten Randbedingungen und Beanspruchungsgrößen für Endlagerbehälter in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein in Deutschland
- AP3: Herleitung und Zusammenstellung der Anforderungen an Endlagerbehälter für ein HAW-Endlager in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein
- AP4: Erarbeitung von Vorschlägen für mögliche Behälterkonzepte in den drei potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein
- AP5: Dokumentation und Abschlussbericht

Die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) ist federführend zuständig für AP1 und AP4, die BGE TECHNOLOGY GmbH für AP2 und AP3 (FKZ: 02 E 11527); AP5 wird gemeinsam von beiden Partnern bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Nationaler und internationaler Stand zu Behälterkonzepten und -anforderungen

Die Überarbeitung des Berichtsentwurfes wurde in enger Abstimmung mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY abgeschlossen.

AP3: Herleitung und Zusammenstellung der Anforderungen an Endlagerbehälter für ein HAW-Endlager in den drei potenziellen Wirtsgesteinen

Der vom Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY für das Arbeitspaket 3 erstellte Berichtsentwurf wurde umfassend kommentiert und mit dem Kooperationspartner abgestimmt. Wesentliches Element hierbei war u. a. eine graphische Gesamtdarstellung zur Herleitung der Behälteranforderungen anhand eines „top-down“-Ansatzes und zur Gesamtkonzept des Vorhabens. Ein separates Papier zum Thema „Ermöglichung einer Bergung eingelagerter Endlagergebinde für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle - Auswirkungen auf Behälterkonzept“- wurde mit dem Kooperationspartner abgestimmt und an BMWi übergeben.

AP4: Erarbeitung von Vorschlägen für mögliche Behälterkonzepte in den drei potentiellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein

Ein Gliederungsentwurf für den AP4-Bericht wurde erstellt und mit dem Kooperationspartner diskutiert. Die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Projektbeschreibung und der im Vorhaben vorhandenen Teilergebnisse skizziert. Die Erarbeitung eines Berichtsentwurfes wurde begonnen.

AP5: Dokumentation und Abschlussbericht

In regelmäßigen Projektgesprächen mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY wurden der Projektfortschritt vorgestellt und die weiteren Arbeitsschritte diskutiert und vereinbart. In Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY wurde eine Gliederung für den Synthesebericht erstellt. Zum AP1 wurde der Entwurf des zugehörigen Kapitels für den Synthesebericht erstellt und mit dem Kooperationspartner abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fertigstellung des Berichtes.

AP3: Fertigstellung des Berichtes unter Aufnahme der wesentlichen Inhalte des Papiers zur Bergung.

AP4: Erstellung und Abstimmung des Berichtes

AP5: Der Vorhabenfortschritt wird im Rahmen der regelmäßigen Projektgespräche mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY sowie auch mit anderen interessierten Parteien dokumentiert. Aus dem Bericht zum AP4 wird ein Kapitel für den Synthesebericht erarbeitet. Weitere Entwurfsfassungen der Kapitel für den Synthesebericht werden mit dem Kooperationspartner abgestimmt und der Synthesebericht insgesamt finalisiert.

Am 19.02.2020 findet auf Einladung durch den Projektträger ein Informationsgespräch mit zahlreichen Fachorganisationen statt, auf dem die wesentlichen Projektergebnisse vorgestellt und diskutiert werden. Relevante Aspekte sollen in den Abschluss der Projektberichte einfließen.

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 448.984,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brohmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Hinblick auf 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 – u. a. in Governance- und Management-Strukturen – entwickelt. Die Arbeitspakete 1 und 5 werden gemeinsam von ITAS, Öko-Institut und FFU bearbeitet. Alle Arbeitspakete sind durch interdisziplinäre Schnittstellen verbunden.

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

AP3: In AP3 werden bestehende Konzepte und Erfahrungen aus reversiblen (Entscheidungs-)Prozessen zusammengetragen, eingeordnet und mit unterschiedlichen Methoden (Desktop Recherchen, teilstrukturierte Interviews sowie (Experten-)Workshops) auf der Basis eigener Hypothesen reflektiert. Die durch diese Arbeitsschritte gewonnenen Erkenntnisse werden vor allem vor dem Hintergrund des im StandAG skizzierten selbsthinterfragenden und lernenden Verfahrens, der vorgesehenen partizipativen Einbindung der Öffentlichkeit und der Bedeutung von Experten in diesem Kontext eingeordnet.

AP3.1 + AP3.2: Um die Analyse von Konzepten und Ansätzen reversibler Entscheidungsprozesse zu vertiefen, wurden im Berichtszeitraum weitere (Literatur-)Recherchen zu Detailaspekten der lernenden Organisation und des lernenden Verfahrens durchgeführt. Ebenfalls aufgenommen wurden Erwartungen aus unterschiedlichen involvierten Institutionen wie BfE (BASE), BGE und NBG und von Vertreter*innen verschiedener Akteursgruppen. Der Fokus der Gespräche lag auf Erwartungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung und Perspektiven auf Reversibilität. Die Akteure gaben wichtige Gestaltungshinweise für ihre jeweils spezifischen Kontexte. Die Ergebnisse der Recherchen wurden aufbereitet und fließen in den AP3 Bericht ein.

Es fanden im Berichtszeitraum ein Projekttreffen aller Verbundpartner sowie mehrere abstimmungsbezogene Telefonkonferenzen zwischen Themenverantwortlichen und zwischen AP-Leitungen statt. Zur Unterstützung der arbeitspaket- und disziplinübergreifenden Zusammenarbeit wurde die gemeinsame Arbeit an der Entwicklung „einheitlicher“ Definitionen und abgestimmter Begriffe weiter vertieft. Dies geschah auch im Hinblick auf die Zusammenführung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen in AP5.

Im Berichtszeitraum wurden die organisatorischen und konzeptionellen Vorbereitungen für die Abschlusskonferenz des Vorhabens am 11./12.2.2020 in Berlin intensiviert. Insbesondere eine spezifische Ansprache von externen Referent*innen und Discussants konnte realisiert werden.

Die vom FFU in Kooperation mit dem Netzwerk für Nukleares Gedächtnis (NeNuG) durchgeführte Ringvorlesung „Der Atomkonflikt in Deutschland – bis in alle Ewigkeit?“ an der Freien Universität Berlin (10.04.-10.07.2019) wurde im Berichtszeitraum abgeschlossen – hier entstandene Diskussionen zu spezifischen Aspekten der Governance konnten in die Projektarbeit aufgenommen werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zum Abschluss des Vorhabens sind folgende Aktivitäten vorgesehen:

AP3.1 + 3.2: Zusammenfassung und Interpretation der bisherigen Ergebnisse;

Abschluss und Überarbeitung des AP3 Berichts

AP3.3: Vorbereitung und Diskussion von Handlungsempfehlungen;

AP5: Zusammenstellung und Einordnung von Handlungsempfehlungen für den AP5 Bericht;

Erstellung eines Sammelbandes mit folgenden Beiträgen vom Öko-Institut (tlw. in Zusammenarbeit mit weiteren Projektpartnern):

- Zu Begriff und Genese von Reversibilität und dessen Bedeutung im Kontext der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle (Roman Seidl, Melanie Mbah, Bettina Brohmann)
- Herausforderungen lernender und sich selbst hinterfragender Langzeit-Verfahren und Möglichkeiten organisationaler Innovationen der beteiligten Institutionen (Roman Seidl, Melanie Mbah, Bettina Brohmann, Saleem Chaudry)
- Der Einfluss lernender und sich selbst hinterfragender Langzeit-Verfahren auf die Organisation beteiligter Institutionen (Melanie Mbah, Bettina Brohmann)
- Expertendissens: Theoretische Ansätze und praktische Erfahrungen (Dörte Themann, Daniel Häfner, Saleem Chaudry, Roman Seidl)
- Professionelle “Checks and Balances” und das Denken in Alternativen. Herausforderungen für ein lernendes Verfahren und Institutionen in einer polarisierten Gesellschaft (Arbeitstitel) (Peter Hocke, Melanie Mbah, Roman Seidl)
- Mitarbeit am Beitrag „Gesellschaftliche Wahrnehmung von soziotechnischen Belangen“ - Auswertung der Interviews mit Stakeholdern und zivilgesellschaftlichen Akteuren
- Mitarbeit am Beitrag „Der socio-technical Divide - Zur unterschiedlichen Interpretation und Nutzung von zentralen Begriffen des Endlagerdiskurses“

Weitere Vorbereitung der Abschlusskonferenz im Februar 2020.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Berichte sind in Vorbereitung; Artikel/Buchbeiträge:

Hocke, P.; Kuppler, S.; Mbah, M. (2019): Politischer Lernprozess oder naives Hoffen auf positive Effekte zukünftiger Bürgerbeteiligung? Das neue deutsche Standortauswahlverfahren bei der Entsorgung hochradioaktiver Brennstoffe. In: Lindner, R., et al. (Hrsg.): Gesellschaftliche Transformationen. Gegenstand oder Aufgabe der Technikfolgenabschätzung. Baden-Baden: edition sigma in Nomos

Kuppler, S.; Mbah, M. (2019): Governing Energy Landscapes – The need for a long-term, place-sensitive perspective (eingereicht)

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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

Der im Rahmen der Endlager-Tagung in Loccum gehaltene Vortrag „Wer steuert das Verfahren? Strukturelle Beobachtungen – konstruktive Handlungsfähigkeit“ (29.6.2019) wurde zu einem Beitrag für den Tagungsband ausgearbeitet (2020, i. E.). Die ITAS-Beiträge für den Sammelband, der die zentralen Ergebnisse der Projekt-Ergebnisse dokumentiert, wurden verteilt und vorbereitet.

AP4: Für die empirische Vertiefung der soziotechnischen Herausforderungen bei Langzeit-Fragen von Infrastrukturprojekten wurden leitfadengestützte Expert*innen-Interviews durchgeführt und ausgewertet.

Darauf aufbauend wurde ein Konzept für ein moderiertes Fachgespräch entwickelt, das für Januar 2020 geplant ist und zentrale Ergebnisse aus den Leitfaden-Interviews mit Experten aufarbeitet.

Die zusammen mit unseren Projektpartnern und dem Netzwerk Nukleares Gedächtnis durchgeführte Ringvorlesung „Der Atomkonflikt in Deutschland – bis in alle Ewigkeit?“ an der Freien Universität Berlin (10.04.-10.07.2019) wurde abgeschlossen. Hinweise auf spezifische Herausforderungen der Endlager-Governance gingen in die aktuellen Veröffentlichungen und die Vorbereitung der Abschlusskonferenz und den Sammelband mit den SOTEC-radio-Ergebnissen (geplant für 2020) mit ein.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP4: Umsetzung und Auswertung des moderierten Fachgesprächs
Erarbeitung und Darstellung von Handlungsempfehlungen für die Politik
Präsentation der Ergebnisse bei der Abschlusskonferenz 11./12.2.2020 in Berlin

AP5: Durchführung der Abschlusskonferenz am 11./12.2.2020, Organisation der Keynotes, Kommentatoren und breitgestreuten Einladungspolitik

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hocke, P. (2020, i. E.): Wer steuert das Verfahren? Strukturelle Beobachtungen – konstruktive Handlungsfähigkeit. Loccum, Loccumer Protokolle „Standortsuche: Miteinander – aber nicht konform? Atommüll-Lager und Partizipation“

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019
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

AP5: Es wurde ein Projekttreffen der Verbundpartner durchgeführt und zwei Telefonkonferenzen fanden statt. Schwerpunkte der Gespräche und Abstimmungen waren: Austausch und Diskussion der Tandem-Publikationsprojekte, Konzeptionierung des Sammelbandes „Robuste Langzeit-Governance bei der Endlagersuche. Soziotechnische Herausforderungen im Umgang mit hochradioaktiven Abfällen“ (Arbeitstitel) sowie Vorbereitung und Planung der Abschlussveranstaltung am 11./12.02.2020 in Berlin.

- In Kooperation mit dem Netzwerk für Nukleares Gedächtnis erfolgte die erfolgreiche Durchführung der wöchentlich stattfindenden Ringvorlesung „Der Atomkonflikt in Deutschland – bis in alle Ewigkeit?“ im Rahmen des Offenen Hörsaals an der Freien Universität Berlin (10.04.-10.07.2019).
- Teilnahme am Forum Zwischenlagerung des BfE, Hannover, 21. September 2019.
- Teilnahme am Symposium „Dialog Endlagersicherheit“ 14./15.09.2019, Berlin.

- Teilnahme an der ECPR Konferenz in Breslau mit dem Vortrag „A comparison of major energy infrastructure projects“ im Panel “Local environmental concerns vs. climate: Increasing societal polarization in energy policy”, Breslau, 6.09.2019.

AP2.1- 2.2:

- Einreichung des Beitrags “Using socio-technical analogues as an additional experience horizon for nuclear waste management” im Rahmen eines Special Issue im „Journal Utilities Policy“. (siehe Themann/Brunnengräber 2020).
- Um die Rolle von Expert*innengremien hinsichtlich ihrer politischen Bedeutung und Einflussmöglichkeiten zu bewerten, wurden verschiedene Endlager-Kommissionen im bundesdeutschen Kontext analysiert (siehe Isidoro Losada et al. 2019).
- Teilnahme an der Tagung “Standortsuche: Miteinander – aber nicht konform? Atommüll-Lager und Partizipation“, in Loccum, 28. - 30.06.2019.
- Organisation und Co Chair von Panel “6 Increasing societal polarization in energy and climate policy” bei der Konferenz des European Consortium for Political Research (ECPR) in Breslau, 06.09.2019.
- Vortrag und Diskussion, ECPR’s General Conference 4.-7.-09.2019 in Wroclav, Panel: “Local environmental concerns vs. climate: Increasing societal polarisation in energy policy”, Paper: “A comparison of major energy infrastructure projects”.
- Teilnahme an der 2. Statuskonferenz Endlagerung, BfE, 14./15.11.2019, Berlin.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2.2: Übertragung des Konzeptes „science policy interfaces“ und Bedeutung von Expertendissense für das Themenfeld der Endlagerung.

Fertigstellung eines Beitrags über Wissenschafts- und Expert*innendissense sowie zum Umgang mit solchen Dissensen am Beispiel der Zwischenlagerung.

AP2.2: Fertigstellung des Beitrags „Heimatschutz und Heimatversessenheit im Anthropozän“ mit Bezug zur Atommüllproblematik.

AP2.3: Fertigstellung des Beitrags über das Themenfeld Vertrauen in der Endlagerung, „Confidence gap or timid trust building? The role of trust in the evolution of the nuclear waste governance in Germany“, in: Journal of Risk Research, Special Issue: “Trust, mistrust, distrust and trust building in the nuclear sector: historical and comparative experience from Europe”, 2020.

AP1: Fertigstellung des Arbeitspapiers „Der socio-technical Divide – Zur unterschiedlichen Interpretation und Nutzung von zentralen Begriffen des Endlagerdiskurses“ (Arbeitstitel).

AP5: Erstellung des Sammelbandes „Robuste Langzeit-Governance bei der Endlagersuche. Soziotechnische Herausforderungen im Umgang mit hochradioaktiven Abfällen“ (Arbeitstitel), Springer VS, 2020, mit verschiedenen thematisch fokussierten Beiträgen vom FFU (z. T. in Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Themann, D.; Brunnengräber, A. (eingereicht): Using socio-technical analogues as an additional experience horizon for nuclear waste management - A comparison of wind farms, fracking, carbon capture and storage (CCS) and a deep-geological nuclear waste disposal (DGD). Utilities Policy (in review).

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 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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, so dass 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: Vierter Großversuch (stat.-dyn. Einbringen mit anschließendem Verschleudern des Firstspalts) wurde erfolgreich durchgeführt. Die Eignung des stat.-dyn. Verfahrens konnte aus Sicht der Handhabung und Durchführbarkeit bestätigt werden. Das GE-SAV-Material für diesen Versuch wurde, nach den im III. Quartal 2018 durchgeführten Laborversuchen, optimiert angemischt, um die Salzmineralneubildung nicht durch den Einbringprozess zu beeinträchtigen.
- AP8: Kontinuierliche messtechnische Überwachung Versatzkörper III und IV und geochemische Überwachung aller Versatzkörper.
- AP9: Die gewonnenen Probekörper wurden zum IfG Leipzig transportiert. Der Transport war herausfordernd, da der Transport von Versatzprobekörpern dieser Größe neuartig war.
- AP10: Vorbereitung der Erstellung des Abschlussberichts u. a. Datenaufarbeitung von Labor und in situ.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP7: Großversuche abgeschlossen.
- AP8: Fortsetzung der messtechnischen Überwachung der Versatzkörper III und IV sowie geochemische Überwachung aller Versatzkörper.
- AP9: Probenahme an Versatzkörper III in 01/2020 und an Versatzkörper IV in 02/2020 durch Personal IfBus (vorherige Probenahme durch Personal IfG). Untersuchung der Probekörper am IfG gem. Untersuchungsprogramm.
- AP10: Erstellung des Abschlussberichts.

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
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

An organisatorischen Arbeiten sind von der TUC als Projektkoordinator in diesem Berichtszeitraum zwei Fachtreffen und zwei Telefonkonferenzen gemeinsam mit den Gastgebern bzw. dem Host mitausgerichtet worden. Darüber hinaus ist das BenVaSim-Projekt auf dem 1. DECOVALEX-Symposium mit einem Poster nun auch im europäischen Raum erstmals aus einer projektpartner- und simulatorübergreifenden Perspektive heraus vorgestellt worden (Referenz s. u.). Schließlich sind gemeinsam Planungen für eine Projektabschlussveranstaltung (BenVaSim-Symposium 2020) begonnen worden, die im Berichtszeitraum in einen Informationsflyer („save the date“) gemündet sind, der vom Koordinator per E-Mail an internationale Fachleute versendet worden ist. Intern sind im Projekt korrigierte und neue Simulationsergebnisse der Partner zu Modell 1.5 und teilweise auch zu den vorangehenden Modellen gesammelt und vergleichend ausgewertet worden. Auch für Modell 1.5 sind in weiten Teilen übereinstimmende Ergebnisse erhalten und Diskrepanzen ergründet worden. Variationen für Modell 1.6 sind nach weiteren Parameterbestimmungen und Vorabsimulationen der TUC gemeinsam auf einem Fachtreffen abgeändert, ausgestaltet und neudefiniert worden.

Die Vorabsimulationen der TUC mit dem FTK-Simulator zu Modell 1.6 in der Spezifikation zu Beginn des Berichtszeitraums haben bei der TUC zu mehreren unerwarteten Simulationsverläufen geführt, in die komplexere thermodynamische Prozesse involviert gewesen sind als die zur Verifizierung beabsichtigten THM-Prozesse. Diese thermodynamischen Prozesse könnten in jedem Simulator auf unterschiedliche Weise implementiert oder auch vereinfacht umgesetzt sein, so dass ein Ergebnisvergleich eher einer Validierung der thermodynamischen Gleichungen entspräche anstatt der Verifikation der Simulatoren zu dienen. Auch wenn dieser Validierungsaspekt sehr hilfreich für das Verständnis für die Simulatoren und ihrer Berechnungsergebnisse ist, so soll der Fokus in dieser Projektstufe primär auf der Simulatorverifizierung bestehen bleiben. Erste Simulationsergebnisse zu den neudefinierten Variationen für Modell 1.6 sind von der TUC bereits erhalten worden.

Weitere Dokumentationen zum Projekt sind erfolgt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die FTK-Simulationen zu Modell 1.6 sind zu vervollständigen, und die Excel-Tabellenkalkulationsvorlagen für Modell 1.6 sind noch zu erstellen. Die Organisation des BenVaSim-Symposiums im Mai 2020 ist durchzuführen. Für die Vorstellung des Projekts und seiner Ergebnisse sind darüber hinaus Präsentationen auf konkreten weiteren Fachtagungen geplant („11th US/German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation“, „8th International Conference on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement“, „14. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Arbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle“).

Weitere Dokumentationen der Arbeiten und Ergebnisse der TUC werden erfolgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Rutenberg, M.; Feierabend, J.; Lux, K.-H.; Maßmann, J.; Pitz, M.; Lorenzo Sentís, M.; Graupner, B.J.; Hansmann, J.; Czaikowski, O.; Friedenber, L.; Hotzel, S.; Kock, I.; Rutqvist, J.; Hu, M.; Rinaldi, A.P. (2019): BenVaSim—Introduction to a Benchmarking of TH²M Simulators for Subsurface Applications with First Results. Sammlungen der Kurzfassungen (abstracts) und der Poster zum 1. „DECOVALEX Symposium on Coupled Processes in Radioactive Waste Disposal and Subsurface Engineering Applications“, ENSI/LBNL, 4.-5. November 2019, Brugg, Schweiz

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 750.803,00 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 beteiligt sich hier mit ihren langjährigen Erfahrungen im Umgang mit dem Simulator CODE_BRIGHT.
- 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

Im Berichtszeitraum fanden zwei Projektgespräche statt. Das erste Gespräch wurde vom 11.-12. September bei der BGR in Hannover abgehalten, wo Ergebnisse zu Model 1.5 präsentiert und diskutiert wurden. Zudem wurde das weitere Vorgehen und Ziele für das thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelten Models 1.6 diskutiert und auf einer von der BGR ausgearbeiteten Vorlage konkretisiert. Die Projektpartner sprachen außerdem über den Rahmen des Abschlussworkshops und sammelten erste Ideen und Meinungen. Das zweite Projektgespräch wurde von der GRS Braunschweig organisiert. Es wurden noch weitere Ergebnisse zu Model 1.5 gezeigt sowie erste Ergebnisse zu Model 1.6, auf deren Grundlage notwendige Änderungen an der Herangehensweise aufgezeigt wurden. Weiterhin wurde das Datum für den Abschlussworkshop in Clausthal festgesetzt, ein Titel wurde abgestimmt, eine grobe Gliederung wurde festgehalten und über potentielle Interessenten diskutiert.

Die GRS führte Simulationen zu den ersten Konkretisierungen für Model 1.6 durch und konnte dadurch Schwierigkeiten in der Anwendung von CODE_BRIGHT aufzeigen, welche durch die Festsetzung der effektiven Spannungen zu null entstanden. In der Finalisierung des Models wurde dies berücksichtigt. Außerdem wurden finale Simulationen zu Model 1.5 durchgeführt.

Im Laufe des Berichtszeitraums konnte die GRS in Zusammenarbeit mit den Entwicklern von CODE_BRIGHT Differenzen in den Simulationsergebnissen von Modellen mit reduziertem Biot-Koeffizienten klären. Die Differenzen zu den Projektpartnern zeigen sich in der Druckverteilung der flüssigen Phase. Dies resultiert daraus, dass die Biot-Theorie nicht ganzheitlich in CODE_BRIGHT implementiert ist, da hier nur der mechanische Teil berücksichtigt wird. Weiterhin konnten Diskrepanzen in der Berechnung des Gasdrucks beseitigt werden, indem die Henry Konstante angepasst wurde. Im Zuge dieser Verbesserungen wurden die Modelle 1.1 bis 1.5 von der GRS neu simuliert. Bezogen auf Model 1.6 wurde außerdem mit den Entwicklern über die Möglichkeit einer manuellen Anpassung von Fluidparametern gesprochen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Bearbeitung des Models 1.6
- Durchführung und Auswertung von Modellberechnungen
- Gegenüberstellung und Diskussion der Ergebnisse
- Dokumentation
- Planung des Abschlussworkshops

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 11577A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2017 bis 31.05.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 793.425,00 EUR	Projektleiter: Dr. Müller

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Grundlage des Projektes SUSE ist die 2001 zwischen dem früheren russischen Ministerium für Atomenergie Minatom (jetzt Rosatom) und dem BMWi getroffene Vereinbarung für eine deutsch-russische Kooperation zur internationalen Forschungs- und Entwicklungsarbeit hinsichtlich der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Kristallingesteinen. In den vergangenen 15 Jahren wurden gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die sich auf die Ergebnisse von Erkundungsarbeiten auf mehreren Kristallinstandorten im Nishnekansker Gebiet (nahe Krasnojarsk) stützen und sich seit 2006 auf Untersuchungen des Standortes Yeniseysky konzentrieren, durchgeführt. Im Vorhaben SUSE werden die sicherheitsanalytischen Untersuchungen zu Endlagersystemen in Kristallingesteinen am Standort Yeniseysky weitergeführt. Die Untersuchungen umfassen die Erarbeitung von Verschlusskonzepten, der Charakterisierung der Klüftung kristalliner Gesteine sowie die Durchführung hydrogeologischer Strömungs- und Transportberechnungen. In Abstimmung mit den russischen Kollegen werden zudem Laborexperimente zu den mechanischen Eigenschaften an geklüfteten, wieder mineralisierten Wirtsgesteinen sowie zum Radionuklid-Rückhaltevermögen an kristallinen Kernproben aus dem Untersuchungsgebiet durchgeführt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird das geologische Standortmodell für das Untersuchungsgebiet Yeniseysky aktualisiert und hinsichtlich des Kluft- und Störungszonennetzwerkes präzisiert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bemessung des geotechnischen Verschlussystems
- AP2: Gesteinseignungsklassifikationen als Positionierungskriterien für Dichtelemente, Bohrlöcher und Auffahrungen im Kristallin
- AP3: Charakterisierung eines Kluft- und Störungszonennetzwerkes am Beispiel des Standortes Yeniseysky
- AP4: Erhebung zusätzlicher Daten an Probenmaterial aus dem Gebiet Yeniseysky
- AP5: Regionale 3D-Strömungs- und Transportmodelle
- AP6: Bewertung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

WTZ-Zusammenarbeit: Am 05. und 06. September 2019 fand in Dresden die 10. Koordinations-sitzung der Expertengruppe zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Reaktorsicherheits- und Entsorgungsforschung (BMW i – Rosatom) u. a. unter Beteiligung von BGR, BGE TECHNOLOGY und GRS statt. Im Rahmen dieser Sitzung wurde von GRS, BGR und BGE TECHNOLOGY eine Kooperationsvereinbarung über die wissenschaftliche Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem nationalen russischen Vorhabensträger für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (FSUE NO.RAO) und dem russischen Institut für nukleare Sicherheit (IBRAE RAS) unterzeichnet. Inhalt der Zusammenarbeit werden unter anderem In-Situ-Messmethoden, das geologische Modell 2020, die Optimierung von Sicherheitsbarrieren, Laboruntersuchungen und Software-Pakete sein.

AP5: Für die in SUSE angedachten Modellierungsarbeiten, d. h. Erstellung eines strukturgeologisch-hydrogeologischen Modells und die Durchführung von Transportmodellierungen zur Radionuklidenausbreitung im Endlagermaßstab, haben sich die Projektpartner auf einen auf Kontinuumsmodelle fokussierten Ansatz verständigt. Der Ansatz sieht eine Übertragung der Geometrie des Kluftsystems auf ein Kontinuumsmodell vor, in dem den Zellen, die die Klüfte repräsentieren, äquivalente, d. h. klufttypische hydraulische Eigenschaften zugewiesen werden. Der Ansatz sieht vor, dass für die Kontinuumsmodelle eine regelmäßige Vernetzung verwendet wird, die zu einem Treppenstufenmuster bei der Abbildung der Klüfte führt. Im Vergleich zur realen Kluftlänge verlängert die regelmäßige Vernetzung den hydraulischen Transportpfad der Kluft, was durch eine Anpassung der Durchlässigkeit einer jeden Kluft korrigiert werden muss. Entsprechende Korrekturen sind in der Literatur beschrieben, die anhand einfacher Modelle, z. B. Modelle mit nur einer Kluft aber unterschiedlichen Einfallswinkeln, getestet wurden. Vergleiche mit der analytischen Lösung und mit anderen Rechen-codes, bei der die Abbildung der Kluft explizit, d. h. ohne das beschriebene Treppenstufenmuster erfolgt, zeigen bisher noch deutliche Unterschiede und es bedarf daher weiteren Analysen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Weiterführung der Arbeiten zur Ableitung von Positionierungskriterien für das russische Grubengebäude auf Basis der RSC-Klassifikation (Posiva). Es soll überprüft werden, welchen Einfluss die Anwendung des mechanischen Kriteriums auf das aktuell geplante russische Grubengebäudedesign hat, insbesondere im Hinblick auf die Ausweisung und Abnahme von geeigneten Gebirgsbereichen für Einlagerungsbohrlöcher.

AP5: Für die Erstellung eines strukturgeologischen-hydrogeologischen Modells und die Durchführung von Transportmodellierungen zur Radionuklidenausbreitung im Endlagermaßstab, wird ein auf Kontinuumsmodelle fokussierter Ansatz im Projekt SUSE verfolgt. Die dafür benötigten Korrekturfunktionen müssen anhand weiterer einfacher Testrechnungen überprüft werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Flügge, J.; Jobmann, M.; Müller, C.; Sönke, J.; Weitkamp, A.; Wolf, J. (2019): Umgang mit geklüfteten Medien in Langzeitsicherheitsanalysen. Oral presentation. Tage der Standortauswahl, 3. Fachworkshop der BGE Braunschweig, 12.-14.12.2019

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11577B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2017 bis 31.05.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 882.900,00 EUR	Projektleiter: Dr. Flügge

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Vorhaben SUSE werden die sicherheitsanalytischen Untersuchungen zu Endlagersystemen in Kristallingesteinen am Standort Jenessieskij weitergeführt. Die Untersuchungen umfassen die Erarbeitung von Verschlusskonzepten, der Charakterisierung der Klüftung kristalliner Gesteine sowie die Durchführung hydrogeologischer Strömungs- und Transportberechnungen. In Abstimmung mit den russischen Kollegen werden zudem Laborexperimente zu den mechanischen Eigenschaften an geklüfteten, wieder mineralisierten Wirtsgesteinen sowie zum Radionuklid-Rückhaltevermögen an kristallinen Kernproben (Gneiss, Dolerit, Kluftminerale) aus dem Untersuchungsgebiet Yeniseysky in Russland durchgeführt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird das geologische Standortmodell für das Untersuchungsgebiet Yeniseysky aktualisiert und hinsichtlich des Kluft- und Störungszonennetzwerkes präzisiert. Auf dieser Grundlage werden mit den Programmen d³f++ und RepoTREND Strömungs- bzw. Transportmodelle aufgebaut und Berechnungen durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP1: Bemessung des geotechnischen Verschlussystems
- AP2: Gesteinseignungsklassifikationen als Positionierungskriterien für Dichtelemente, Bohrlöcher und Auffahrungen im Kristallin
- AP3: Charakterisierung eines Kluft- und Störungszonennetzwerkes am Beispiel des Standortes Yeniseysky
- AP4: Erhebung zusätzlicher Daten an Probenmaterial aus dem Gebiet Yeniseysky
- AP5: Regionale 3D-Strömungs- und Transportmodelle
- AP6: Bewertung und Dokumentation

Die GRS ist federführend in den AP4 und AP5.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 05. und 06. September 2019 fand in Dresden die 10. Koordinationssitzung der Expertengruppe zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Reaktorsicherheits- und Entsorgungsforschung (BMW i – Rosatom) u. a. unter Beteiligung von BGR, BGE Technology und GRS statt. Im Rahmen dieser Sitzung wurde von GRS, BGR und BGE Technology eine Kooperationsvereinbarung über die wissenschaftliche Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem nationalen russischen Vorhabensträger für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (FSUE NO.RAO) und dem russischen Institut für nukleare Sicherheit (IBRAE RAS) unterzeichnet. Inhalt der Zusammenarbeit werden unter anderem In-Situ-Messmethoden, das geologische Modell 2020, die Optimierung von Sicherheitsbarrieren, Laboruntersuchungen und Software-Pakete sein.

Am 18.10.2019 fand ein Projektgespräch bei der BGE Technology mit Beteiligung der BGR und der GRS in Peine statt. Auf diesem Treffen wurden vor allem die Ergebnisse neuer Modellierungsarbeiten (AP5) und das weitere Vorgehen zur Ergebnisanalyse und weiterer Arbeiten diskutiert. Bisher durchgeführte Arbeiten zur Erhebung zusätzlicher Daten an Probenmaterial aus dem Gebiet Yeniseysky (AP4) wurden von BGR und GRS vorgestellt und die Ergebnisse diskutiert.

AP3: Die Strömungsrechnungen anhand des einfachen, kleinskaligen Modells (Würfel mit Einzelkluft) wurden weitergeführt. Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit den Programmen FLAC3D (BGE Technology) und d³f++ (GRS) für unterschiedliche Umsetzungen der Kluft (explizite, äquidimensionale Kluft; explizite, niederdimensionale Kluft; explizite Kluft als äquivalent-poröses Medium) zeigte eine Zunahme der Abweichung von der analytischen Lösung mit zunehmendem Einfallswinkel der Kluft und eine Abnahme der Abweichung mit höherer Verfeinerung des Rechengitters.

AP4: Die Sorptionsexperimente wurden begonnen. Abweichend von der ursprünglich getroffenen methodischen Festlegung wurde die höhere Temperatur der Sorptionsversuche nicht auf 90 °C, sondern auf 80 °C gesetzt, da die zur Verfügung stehenden pH-Elektroden nur bis 80 °C innerhalb praktikabler Messzeiten stabile Messwerte liefern können. Unter Beachtung der in den Vorversuchen gewonnenen Ergebnisse wurden die Bedingungen für die Hauptversuche angepasst, z. B. im Hinblick auf die Korngröße, die Temperatur, den pH-Bereich und die einzusetzenden Sorbenten und Pufferstoffe. Im Rahmen der Vorversuche wurde eine Studienarbeit angefertigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Die Strömungsrechnungen anhand des einfachen, kleinskaligen Modells (Würfel mit Einzelkluft) wurden weitergeführt.

AP4: Die Sorptionsexperimente werden fortgesetzt. Die Bestimmung der Permeabilität und des Quelldrucks an russischen Bentoniten wird abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Flügge, J.; Jobmann, M.; Müller, C.; Sönneke, J.; Weitkamp, A.; Wolf, J. (2019): Umgang mit geklüfteten Medien in Langzeitsicherheitsanalysen. Oral presentation. Tage der Standortauswahl, 3. Fachworkshop der BGE Braunschweig, 12.-14.12.2019

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11607A	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2017 bis 30.09.2020		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 656.550,00 EUR		Projektleiter: Dr. Bischofer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Primäres Ziel des Verbundvorhabens VESPA II ist, das Verständnis der Lösungseigenschaften und der Rückhaltung von mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten besonders unter reduzierenden Bedingungen entscheidend zu verbessern.

Ziel des GRS-Teilprojekts VESPA II ist, ein polythermes thermodynamisches Modell zur Beschreibung der Aktivitäten von gelösten Selenspezies unter reduzierenden Bedingungen zu entwickeln.

Darüber hinaus wird die chemische Reaktion von oxidierten Selenspezies bei Fe-Korrosion untersucht, die Lösungseigenschaften von Selenit und Iodid bei Temperaturen über 25 °C werden ermittelt bzw. prognostiziert sowie geochemische Referenzszenarien für potentielle Endlagerstandorte in deutschen Tonstein- und Steinsalzformationen entwickelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Speziation und Thermodynamik von Spaltprodukten in salinaren Lösungen
- Untersuchung der Rückhaltung von oxidierten Selenspezies beim Kontakt mit Fe(II)-haltigen Korrosionsprodukten
- Geochemische Systemzustände im Nahfeld
- Vergleichende Modellierung der Ausbreitung und Rückhaltung von langlebigen Spalt- und Aktivierungsprodukten
- Projektmanagement und Projektcontrolling

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: An der Titrationskalorimetrie traten bei den Experimenten zu Beginn des Berichtszeitraums zusätzliche exotherme Peaks auf. Nachdem das Problem behoben werden konnte, wurde das Kalorimeter so modifiziert, dass sauerstoffempfindliche Lösungen gemessen werden können. Eine sauerstofffreie MgI_2 -Lösung wurde unter Schutzgasatmosphäre hergestellt. Anschließend erfolgte eine erste Messung der Verdünnungsenthalpie einer MgI_2 -Lösung.

Die isopiestic Messungen für das ternäre System $\text{CsCl-CsSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ bei Temperaturen $\geq 25\text{ °C}$ wurden abgeschlossen und für das ternäre System $\text{CsCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ bei Temperaturen $> 25\text{ °C}$ eine zweite Isoaktivitätslinie erstellt. Für die ternären Lösungen des Systems Cäsiumsulfat mit Na_2SO_4 , MgSO_4 und CaSO_4 bei $T \geq 25\text{ °C}$ wurden die isopiestic Messungen fortgesetzt und sind weitgehend abgeschlossen.

Für das System $\text{Cs-(Na/K/Mg/Ca)-Cl/SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ wurde ein vorläufiges Aktivitätsmodell für Temperaturen von $25\text{-}90\text{ °C}$ erstellt.

AP5: Die Ergebnisse der thermodynamischen Experimente zum ternären System $\text{Cs-Na,K,Mg-Cl-H}_2\text{O}$ und $\text{Cs-Na,K,Mg-SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ sowie die entwickelten Aktivitätsmodellierungen für $25\text{-}90\text{ °C}$ wurden bei der Goldschmidt Konferenz 2019 präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Das Messsystem für oxidationsempfindlichen Selenide mittels photometrischer Titration wird aufgebaut und die Messungen begonnen.

Mit der Titrationskalorimetrie werden Verdünnungsenthalpien von MgI_2 und K_2SeO_3 für 25 °C sowie für MgI_2 auch für höhere Temperaturen bestimmt.

Die isopiestic Messungen für das System $\text{Cs-(Na/K/Mg/Ca)-SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ bei $T > 25\text{ °C}$ werden abgeschlossen sowie die angedachte Isopiestic für das binäre System $\text{K}_2\text{SeO}_3\text{-H}_2\text{O}$ bei 25 °C wird durchgeführt.

Anschließend wird das polytherme Modell für das System $\text{Cs-(Na/K/Mg/Ca)-Cl/SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ überarbeitet und für das System $\text{SeO}_3\text{-(Na/K/Mg/Ca)-Cl/SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ein Modell erstellt.

AP2: Die Batchversuche zur Rückhaltung von Selenit und Selenat durch Fe-II-Korrosionsphasen und metallischem Eisen werden angesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hagemann, S., Bischofer, B., Lu, T.: Water activity and modeling of ternary solutions of the systems $\text{CsCl-MCl-H}_2\text{O}$ and $\text{Cs}_2\text{SO}_4\text{-MSO-H}$ ($\text{M}=\text{Na,K,Mg}$) at 25 to 90 °C , Goldschmidt Conference, 18 – 23 August 2019, Barcelona, Goldschmidt Abstracts, 2019, 1256.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11607B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2017 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 515.767,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Primäres Ziel des Verbundprojektes VESPA mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, dem Karlsruhe Institut für Technologie und dem Forschungszentrum Jülich ist es, Konservativitäten in den Annahmen, die z. Z. für die Radionuklide ^{14}C , ^{79}Se , ^{129}I und ^{99}Tc in Langzeitsicherheitsnachweisen angenommen werden, abzubauen. Ziel des Teilvorhabens des HZDR ist die Identifikation von Rückhalteprozessen für das Spaltprodukt ^{99}Tc und im geringeren Umfang für ^{79}Se . Dabei werden auch konkurrierende Reaktionen erfasst sowie der Einfluss des Redoxzustandes untersucht. Neben Batchversuchen sind spektroskopische Speziesnachweise ein wichtiger Bestandteil der Untersuchungen. Thermodynamische Daten werden ermittelt und im Fall hinreichender Qualifizierung in die Referenzdatenbasis THEREDA implementiert. Sorptionsparameter werden in die mineralspezifische Sorptionsdatenbank RES³T eingebunden. Ein weiteres Ziel stellt die Untersuchung und Charakterisierung der relevanten niederen Oxidationsstufen des ^{99}Tc dar.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Sorptionsprozesse
 AP1.1: Sorption von Selen (0 und -II) an verschiedenen Eisen-Korrosionsphasen und Modelmineraloxiden
 AP1.2: Sorption und Einbau von Tc an verschiedenen Eisen-Korrosionsphasen
 AP1.3: Auswirkung der Variabilität von Eisen-Korrosionsphasen auf den Rückhalt von Selen und Technetium
 AP2: Tc-Chemie inklusive niedriger Oxidationsstufen
 AP3: Datentransfer zur Langzeitsicherheitsanalyse
 AP4: Erstellung Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1:
- Das Manuskript "Technetium retention by gamma alumina nanoparticles and the effect of sorbed Fe^{2+} " wurde bei Journal of Hazardous Materials eingereicht, mit zweimaliger Bitte um "major revision" zur Publikation akzeptiert und ist am 09.01.20 online erschienen: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122066>
 - Das Manuskript „New insights into $^{99}\text{Tc(VII)}$ removal by pyrite: A spectroscopic approach“ wurde bei Environmental Science & Technology eingereicht, mit zweimaliger Bitte um "major revision" zur Publikation akzeptiert. Die zweite revidierte Version wurde erneut eingereicht (14.01.2020)
 - Raman-mikroskopische Untersuchungen der beobachteten Ausfällungen nach Tc Wechselwirkung mit $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Al}^{\text{III}}\text{-Cl LDH}$ bei pH 4.5, pH 6.5 und pH 9.5 zeigten neben der LDH Phase auch die Anwesenheit von Hämatit und Ferrihydrit.
 - Über die Analyse EXAFS spektroskopischer Daten wurden zwei Komponenten ermittelt, die entscheidend sind für den Rückhalt von Tc an $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Al}^{\text{III}}\text{-Cl LDH}$: (1) Tc(IV) Dimere sorbiert über eine monodentate, inner-sphärische Anordnung an Hämatit und (2) in die Hämatitstruktur inkorporiertes Tc(IV).

- Synthese des Minerals Green Rust über Kopräzipitation von FeCl_3 und FeCl_2 bei pH 9 und dessen Charakterisierung mittels Röntgenbeugung, Raman Mikroskopie, Elektronenmikroskopie, Diffusionslichtstreuung und Zetapotential.
- Erste Voruntersuchungen zum Tc Rückhaltevermögen von Green Rust zeigten 100 % Retention zwischen pH 6.5 und 9.5 in MQ-Wasser, 0.01 M NaCl und 0.1 M NaCl.

AP2:

- In Voruntersuchungen hat sich gezeigt, dass Perchlorat ein geeigneter Hintergrundelektrolyt aufgrund seiner Stabilität im anzuwendenden elektrochemischen Fenster (-1 to 1 V) darstellt. Außerdem wird Perchlorat als inert angesehen, d. h. es werden keine Tc-Komplexe erwartet.
- In Voruntersuchungen wurde Zykelvoltammetrie, Differential-Puls-Voltammetrie und Chronoamperometrie, gekoppelt mit UV-Vis Spektroskopie getestet. Als Materialien für die Arbeitselektrode diente Glaskohlenstoff, für die Referenzelektrode Ag/AgCl und Pt für die Gegenelektrode. Die Tc Reduktion wurde bei konstanter Tc Konzentration von 1 mM und variierender Ionenstärke ($[\text{NaClO}_4] = 0.1 \text{ M}$ und 1 M) und variierendem pH-Wert (pH 2 und pH 9) untersucht.
- Eine Veränderung der Ionenstärke führt zu einer Verschiebung des Reaktionspotentials bei beiden pH-Werten.
- Der pH Wert beeinflusst die Reaktionsmechanismen: bei pH 2 wurde eine direkte Reduktion von Tc(VII) zu Tc(IV) beobachtet. Dagegen wird bei pH 9 eine intermediäre Oxidationsstufe zwischen Tc(VII) und Tc(IV) vermutet.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Untersuchung der Rückhaltung von Tc an Al_2O_3 in Gegenwart von S^{2-} und Sn^{2+} .
- Erweiterte Untersuchungen zum Einfluss der Tc-Konzentration, der Ionenstärke und des pH-Wertes auf die Tc-Rückhaltung von $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Fe}^{\text{III}}\text{-Cl}$ Green Rust-Phasen.
- Erarbeiten eines Manuskriptes zum Thema Tc-Rückhaltung durch $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Al}^{\text{III}}\text{-Cl}$ LDH und dessen Einreichung zur Veröffentlichung.

AP2:

- Optimierung des elektrochemischen Versuchsaufbaus: weiterführende Versuche mit der elektrochemischen Zelle und Implementierung einer Statischen Quecksilbertropfenelektrode
- Versuche bei Variation des Hintergrundelektrolyten (NaCl , NaClO_4 , NaHCO_3 , NaNO_3 und Na_2SO_4)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Vorträge:

“ ^{99}Tc retention on Fe(II)-Al(III)-Cl layered double hydroxides” Vortrag Goldschmidt 2019 in Barcelona 18-23 August. N. Mayordomo, D. M. Rodríguez, A. C. Scheinost, A. Rossberg, V. Brendler und K. Müller

“Technetium immobilization by Fe(II)-Al(III)-Cl layered double hydroxides” Vortrag GDCh 2019 in Dresden 25-27 September. N. Mayordomo, D. M. Rodríguez, A. Rossberg, A. C. Scheinost, H. Foerstendorf, K. Heim, V. Brendler und K. Müller

“New studies of the Tc(VII) reduction in aqueous electrolyte media using spectroelectrochemistry” Vortrag GDCh 2019 in Dresden 25-27 September. D. M. Rodríguez, N. Mayordomo, V. Brendler, K. Müller und T. Stumpf

“ ^{99}Tc immobilization by aluminum solids containing Fe(II) moieties” Vortrag Material Research Society 43rd Symposium on the Scientific basis for nuclear waste management. Vienna 20-24 October. N. Mayordomo, D. M. Rodríguez, K. Molodtsov, E. V. Johnstone, A. Rossberg, K. Heim, H. Foerstendorf, D. Schild, V. Brendler und K. Müller

Poster:

“Spectroelectrochemical studies of the Tc(VII) reduction in aqueous electrolyte media” Poster Migration 2019 in Kyoto 15-20 September. D. M. Rodríguez, N. Mayordomo, V. Brendler, K. Müller und T. Stumpf

“Reductive immobilization of ^{99}Tc (VII) by different crystalline phases of iron sulfide (FeS_2)” Poster Migration 2019 in Kyoto 15-20 September. D. M. Rodríguez, N. Mayordomo, D. Schild, V. Brendler, K. Müller und T. Stumpf

Berichte (IRE Jahresbericht 2019):

“ ^{99}Tc retention promoted by $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Al}^{\text{III}}\text{-Cl}$ layered double hydroxide” N. Mayordomo, D. M. Rodríguez, A. Rossberg, H. Foerstendorf, K. Heim, A. C. Scheinost, V. Brendler und K. Müller

“Spectroscopic analysis of the ^{99}Tc removal by synthetic pure pyrite” D. M. Rodríguez, N. Mayordomo, A. C. Scheinost, V. Brendler, K. Müller und T. Stumpf

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11607C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2017 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 504.649,00 EUR	Projektleiter: Dr. Altmaier	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Primäres Ziel des Verbundvorhabens VESPA II ist, das Verständnis der Lösungseigenschaften und der Rückhaltung von mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten mit Fokus auf reduzierende Bedingungen entscheidend zu verbessern. Dabei sollen insbesondere zuverlässigere chemische Eingangsdaten für langzeitanalytische Modellrechnungen für generische Endlagerbedingungen unterschiedlicher Wirtsgesteinsformationen zur Verfügung gestellt werden. Dies umfasst unter anderem das Stoffinventar und den Quellterm für ^{129}I sowie Löslichkeitsgrenzen und Sorptionskoeffizienten für Selen-, Iod- und Technetiumspezies.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten von KIT-INE im Rahmen von VESPA II gliedern sich in folgende Arbeitspakete:

- AP1: Chemische Thermodynamik von Technetium(IV).
- AP2: Rückhaltung von Radionukliden durch Sekundärphasen im Nahfeld: Rückhaltung von Selen(IV) durch Calcit.
- AP3: Rückhaltung von Radionukliden durch Sekundärphasen im Nahfeld: Rückhaltung von Iod durch Fe-Sekundärphasen.
- AP4: Freisetzung von ^{129}I aus der Abfallmatrix.
- AP5: Einbindung von Daten und Erkenntnissen in langzeitsicherheitsanalytische Modellrechnungen (erfolgt gemeinsam im Projektverbund).
- AP6: Dokumentation.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden von KIT-INE in VESPA II die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- AP1: (i) Abschluss der thermodynamischen Analyse der Tc(IV)-SO₄ Systeme. (ii) Löslichkeitsexperimente aus der Unter- und Übersättigung mit Tc bei Anwesenheit von Gluconat; (iii) Anwendung moderner XAS-Analysemethoden zur Charakterisierung der Tc Speziation bei Anwesenheit von Gluconat.

- AP2: Fortführung der Langzeit-Rekristallisationsexperimente und Modellrechnungen.
- AP3: (i) Abschluss der Analysen zu den Grüner-Rost Mischphasen zwischen Chlorid- und Iodid-Endgliedern („Einbau“) mittels spektroskopischer und mikroskopischer Methoden (inkl. XAS). (ii) Vergleich mit theoretischen Rechnungen (DFT) zeigt gute Übereinstimmung. (iii) Vorstellung der Ergebnisse auf Konferenzen und Erstellung eines Manuskripts.
- AP4: (i) Fortlaufende Gas- und Lösungsprobennahmen des Auslaugexperimentes mit bestrahltem Kernbrennstoff zur Bestimmung der ^{129}I -Freisetzung (IRF). (ii) Weitere Ergebnisse zur ^{129}I Freisetzung aus dem Auslaugexperiment mit bestrahltem Kernbrennstoff wurden erhalten. (iii) Erfolgreicher Abschluss der Methodenentwicklung zur Separation von ^{129}I von anderen Radionukliden in alkalischen Lösungen welche in Kontakt mit Kernbrennstoff/Zircaloy waren.
- AP5 und AP6: Es wurden keine Arbeiten im Berichtszeitraum durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im kommenden Berichtszeitraum sollen von KIT-INE folgende Arbeiten durchgeführt werden:

- AP1: (i) Erstellung eines Manuskripts zu den Arbeiten im Tc(IV)-SO $_4$ System. (ii) Abschluss der Löslichkeitsexperimente aus der Unter- und Übersättigung mit Tc bei Anwesenheit von Gluconat; (iii) Abschluss der XAS-Analysen zur Charakterisierung der Tc Speziation bei Anwesenheit von Sulfat bzw. Gluconat. (iv) Ansetzen von Experimenten mit Re für Analogiebetrachtungen zu den Tc-Systemen. (v) Experimentplanung: Tc bei Anwesenheit von Sulfid.
- AP2: Fortlaufendes Monitoring der Rekristallisationsexperimente und analytische Untersuchungen der rekristallisierten Partikel.
- AP3: (i) Das Manuskript zu den „Einbau“ Daten (siehe Oben) soll fertiggestellt werden. (ii) Fortsetzung der Sorptionsversuche zur Wechselwirkung zwischen Iodid und Grüner-Rost Phasen. XAS-Messungen und Modellierung der Sorptionsdaten geplant. (iii) Fortsetzung und Optimierung der Alterationsexperimente mit Grüner-Rost Festphasen.
- AP4: (i) Weitere Beprobung des Auslaugexperimentes zum Freisetzungsverhalten von ^{129}I . (ii) Aufbau einer experimentellen Anordnung zum alkalischen Aufschluss von Kernbrennstoff in der abgeschirmten Boxenlinie des INE und anschließende Anwendung der entwickelten Separationsmethode für ^{129}I auf Aufschlusslösungen.
- AP5 und AP6: Es sind keine Arbeiten im kommenden Berichtszeitraum geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- S. Duckworth et al., Vortrag - Fachgruppentagung GDCh 2019, Dresden, September 25-27, 2019
- S. Duckworth et al., Poster - Migration 2019 Konferenz, Kyoto (Japan), September 15-20, 2019
- X. Gaona et al., Poster - Migration 2019 Konferenz, Kyoto (Japan), September 15-20, 2019
- T. Platte et al., Poster - Migration 2019 Konferenz, Kyoto (Japan), September 15-20, 2019

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		Förderkennzeichen: 02 E 11607D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2017 bis 30.06.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 265.296,00 EUR	Projektleiter: Dr. Daniels	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

VESPA II baut auf den Erkenntnissen aus dem Vorläuferprojekt VESPA auf, indem offene Fragen zur Rückhaltung von Radionukliden, der chemischen Thermodynamik von Spalt- und Aktivierungsprodukten, und der Einbindung von Daten und Erkenntnissen in die Langzeitsicherheitsanalyse bearbeitet werden. Dabei sollen insbesondere zuverlässigere chemische Eingangsdaten für langzeitanalytische Modellrechnungen für generische Endlagerbedingungen unterschiedlicher Wirtsgesteinsformationen zur Verfügung gestellt werden. Dies umfasst das Stoffinventar und den Quellterm für ^{129}I sowie Löslichkeitsgrenzen und Sorptionskoeffizienten für Selen-, Iod- und Technetiumspezies.

Innerhalb des Beitrags des IEK-6 zu VESPA II wird die Retention von Iodid an lamellaren Doppelhydroxid-Verbindungen (LDHs) im Detail untersucht. Das langlebige Isotop ^{129}I spielt in vielen Analysen zur Langzeitsicherheit von tiefen geologischen Endlagern für hochradioaktive Abfälle eine große Rolle. Im Rahmen des vorgeschlagenen Projekts sollen unterschiedliche Rückhaltemechanismen von Iodid an LDH quantitativ bewertet werden und Daten für Modellrechnungen ermittelt werden. Zusätzlich werden Daten zum Stoffinventar von ^{129}I in abgebrannten Brennelementen und damit der maximal aus dem Abfall freisetzbaren ^{129}I -Stoffmenge ermittelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in 6 Arbeitspakete (AP), die nachfolgend kurz zusammengefasst sind:

AP1: ^{129}I -Inventar in bestrahltem Kernbrennstoff: Dieses AP beinhaltet eine Auswertung von Literaturdaten, die dann zur Abschätzung der ^{129}I -Inventare auch generische Abbrandrechnungen für repräsentative Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren (DWR/SWR) und deren Bestrahlungshistorie verwendet werden.

AP2 - AP4 sind experimentelle APs, in denen unterschiedliche Rückhaltemechanismen (Anionenaustausch, Einbau durch Ko-präzipitation und Rückhaltung in kalzinierten LDH-Phasen) von Iodid an LDH untersucht werden sollen. Neben strukturellen Untersuchungen steht die Quantifizierung von thermodynamischen Eigenschaften der untersuchten Phasen im Vordergrund.

- AP5: In diesem AP werden die Daten aus den experimentellen APs so aufbereitet, dass sie für Modellrechnungen an die Projektpartner übergeben werden können und letztlich auch der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.
- AP6: Ergebnisdokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Im Berichtszeitraum erfolgte die Auswertung der an den durch Anionenaustausch hergestellten (Mg,Ni)Al-LDH-I Phasen durchgeführten XANES-Messungen; dabei wurde u. a. festgestellt, dass das Iod in Form von Iodid in die LDH-Phasen eingebaut wurde. Die Untersuchungen zur Reversibilität des Iodideinbau in die (Mg,Ni)Al-LDH Phasen mittels Desorptionsexperimenten wurden abgeschlossen. Es konnte gezeigt werden, dass der Einbau von Iod durch Ionenaustausch reversibel ist und das eingebaute Iodid durch Chloridionen relativ schnell ausgetauscht bzw. freigesetzt werden kann.
- AP3: Die durch Kopräzipitation hergestellten (Mg,Ni)Al-LDH Phasen wurden mittels Infrarotspektroskopie (IR) charakterisiert. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass in diesen Phasen relativ wenig Karbonationen und Wassermoleküle in der Zwischenschicht eingebaut sind. Dies ist ein indirektes Anzeichen dafür, dass die Schichtstruktur dieser Doppelhydroxid-Verbindungen relativ schlecht ausgeprägt ist.
- AP4: Mit der Auswertung der mittels XAS-Methode gesammelten Informationen und Daten wurde begonnen (insb. XANES Daten). Des Weiteren wurden die durch Rekonstruktion hergestellten Iodid-haltigen LDH-Phasen mittels IR-Spektroskopie untersucht. Umfangreiche Untersuchungen zur Reversibilität der Sorption an diesen Phasen zeigten eine deutlich höhere Stabilität des Iodideinbaus im Vergleich zu den durch Anionenaustausch hergestellten LDH-I Phasen. Zusätzliche Sorptionsversuche wurden hinsichtlich der Kinetik und Thermodynamik des Iod-Einbaus durchgeführt, um die Einbindung der experimentellen Daten in die thermodynamische Modellierung zu ermöglichen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Halbjahr soll die Auswertung der EXAFS- und IR-Daten abgeschlossen werden. Die chemischen Untersuchungen an den Lösungen, die im Gleichgewicht mit verschiedenen LDH-I Phasen sind, sollen abgeschlossen werden; mit der Auswertung dieser Daten sollen dann die für die thermodynamische Modellierung von LDH-I Phasen benötigten Basisdaten bereitgestellt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11617A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRIS-TA II), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2017 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 698.375,69 EUR	Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens wird ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle in Kristallingestein in Deutschland entwickelt. Ein erstes Teilziel ist es, dafür plausible standortunabhängige generische geologische Modelle für unterschiedliche ewG-Typen zu entwickeln. Die darauf basierende weitere Konzeptentwicklung erfordert Kenntnisse sowohl über das Gesteinsverhalten als auch über physikalisch-chemische Prozesse, die innerhalb und außerhalb eines geplanten Endlagers während der zukünftigen Entwicklung ablaufen werden. Ein zweites Teilziel ist daher, einen generischen FEP-Katalog für Endlager in Kristallingesteinen zu entwickeln, auf dessen Basis später eine Szenarienentwicklung durchgeführt werden kann. Kernelemente eines Nachweiskonzeptes sind die Nachweise zur Barrierenintegrität und die radiologische Analyse. Die Teilziele in dem Zusammenhang sind die Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen sowohl für die geologische als auch die geotechnischen Barrieren sowie die Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren für die zu betrachtenden ewG-Typen. Zum Nachweis der Integrität werden die in den Sicherheitsanforderungen qualitativ definierten Integritätskriterien soweit quantifiziert, dass ein rechnerischer Nachweis anhand konkreter Zahlenwerte erfolgen kann.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Sicherheits- und Nachweiskonzept im Kristallingestein
- AP2: Geologie deutscher Kristallinkomplexe, Modelle und Datenbasis
- AP3: Erstellung eines generischen FEP-Kataloges für Endlager im Kristallin
- AP4: Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen
- AP5: Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren
- AP6: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Arbeitspaket 3 des Projektes geht es um die Entwicklung generischer FEP-Kataloge für ein Endlager in einer Kristallinformation in Deutschland. Im Berichtszeitraum wurde, ausgehend von dem im Vorjahr entwickelten FEP-Katalog für die Option des „multiplen ewG“, der FEP-Katalog für die Option „überlagernder ewG“ entwickelt und in einem Berichtsentwurf dokumentiert. Wesentliche Unterschiede bestehen in den FEP, die den ewG beschreiben, da beim „überlagernden ewG“ das Barrieregestein durch ein Salinargestein repräsentiert wird und nicht durch das Wirtsgestein Kristallin selbst. Ein zweiter signifikanter Unterschied besteht in den FEP zum geotechnischen Barrierensystem, da es sich deutlich von dem des „multiplen ewG“ unterscheidet und speziell im nicht-kristallinen ewG Relevanz besitzt. Mit der Erstellung des FEP-Kataloges für das „modifizierte KBS3-Konzept“ wurde begonnen.

Mit Bezug zum Arbeitspaket 4 wurde für alle drei zu untersuchenden Endlager-Optionen „multipler ewG“, „überlagernder ewG“ und das „modifizierte KBS3-Konzept“ ein Verfüll- und Verschlusskonzept auf Basis des Sicherheitskonzeptes entwickelt bzw. vervollständigt. Die drei Verschlusskonzepte wurden, zunächst im Entwurf, in einem technischen Bericht dokumentiert. Mit Blick auf die Nachweisführung wurden für jede Barrierekomponente Sicherheitsfunktionen, Leistungsziele und Design-Anforderungen definiert. Die „Sicherheitsfunktion“ wird in dem Zusammenhang als eine Eigenschaft einer Komponente des Endlagersystems, die sicherheitsrelevante Anforderungen an ein sicherheitsbezogenes System oder Teilsystem oder an eine Einzelkomponente erfüllt, definiert. Damit diese Sicherheits- oder Schutzfunktionen von den einzelnen Komponenten auch übernommen werden können, müssen bei der Konzeption der einzelnen Module jeder Komponente bestimmte „Leistungsziele“ zugeordnet werden. Die Leistungsziele müssen von jeder Komponente erreicht werden, damit sie die ihnen zugedachte Funktion an der ihnen zugedachten Position auch erfüllen können. Ein Leistungsziel wird definiert als eine messbare oder berechenbare Größe oder Charakteristik, anhand derer die Erfüllung der zugehörigen Sicherheitsfunktion quantitativ bewertet werden kann. Zur Erreichung dieser Leistungsziele wiederum ist es notwendig, dass für die Errichtung der Bauwerke bzw. ihrer einzelnen Module spezielle „Design-Anforderungen“ formuliert werden. Anforderungen, bei deren Einhaltung die gewünschten Leistungsziele des Bauwerkes definitiv erreicht werden.

Parallel dazu wurden Kriterien entwickelt, anhand derer die Integrität der geotechnischen Barrieren überprüft bzw. nachgewiesen werden kann. Diese Kriterien wurden in den Berichtsentwurf zu den Integritätskriterien für die geologische Barriere integriert, so dass ein gesonderter Bericht über alle im Zuge des Sicherheitsnachweises anzuwendenden Kriterien entsteht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beschreibung des Nachweiskonzeptes
- Weiterführung der Arbeiten zum FEP-Katalog „modifiziertes KBS3-Konzept“
- Vervollständigung der Arbeiten zur Definition quantifizierter Integritätskriterien für die geologische Barriere und das technische bzw. geotechnische Barrierensystem
- Beispielhafte Nachweisführungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11617B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRIS-TA II), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2017 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 749.940,00 EUR	Projektleiter: Dr. Wolf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens wird ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle in Kristallingestein in Deutschland entwickelt. Ein erstes Teilziel ist es, dafür plausible standortunabhängige generische geologische Modelle für unterschiedliche ewG-Typen zu entwickeln. Die darauf basierende weitere Konzeptentwicklung erfordert Kenntnisse sowohl über das Gesteinsverhalten als auch über physikalisch-chemische Prozesse, die innerhalb und außerhalb eines geplanten Endlagers während der zukünftigen Entwicklung ablaufen werden. Ein zweites Teilziel ist daher, einen generischen FEP-Katalog für Endlager in Kristallingesteinen zu entwickeln, auf dessen Basis später eine Szenarientwicklung durchgeführt werden kann. Kernelemente eines Nachweiskonzeptes sind die Nachweise zur Barrierenintegrität und die radiologische Analyse. Die Teilziele in dem Zusammenhang sind die Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen sowohl für die geologische als auch die geotechnischen Barrieren sowie die Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren für die zu betrachtenden ewG-Typen. Zum Nachweis der Integrität werden die in den Sicherheitsanforderungen qualitativ definierten Integritätskriterien soweit quantifiziert, dass ein rechnerischer Nachweis anhand konkreter Zahlenwerte erfolgen kann.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Sicherheits- und Nachweiskonzept im Kristallingestein
- AP2: Geologie deutscher Kristallinkomplexe, Modelle und Datenbasis
- AP3: Erstellung eines generischen FEP-Kataloges für Endlager im Kristallin
- AP4: Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen
- AP5: Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren
- AP6: Dokumentation

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP3: Erstellung eines FEP-Kataloges für die ewG-Konfiguration „überdeckender ewG“ (Typ B gemäß AkEnd). Mit der Erstellung des FEP-Kataloges für das Konzept der einschlusswirksamen Barrieren (modifiziertes KBS3-Konzept) wurde begonnen.
- AP4: Zur Darstellung des Untertagelabors Bukov in VIRTUS wurden von SURAO Laserscandaten des Grubengebäudes sowie das geologische Modell zur Verfügung gestellt. Die Laserscandaten bestehend aus x-, y- und z-Koordinaten der inneren Oberfläche des Grubengebäudes wurden in VIRTUS eingelesen und eine Detailansicht des Grubengebäudes erstellt.
Planung eines möglichen Experimentes zur Rückhaltung von Iod und Hydrogensulfid im Kristallingestein.
- AP5: Weiterführung der Arbeiten zur Nachweisführung am Rande des ewG für die ewG-Konfigurationen Typ „überdeckender ewG“. Berechnung von Sicherheitsindikatoren für diese Konfiguration. Umsetzung des von der BGR entwickelten geologischen Modell für diese Konfiguration in das Grundwasserströmungs- und Transportmodell d³f⁺⁺.
Vorstellung der Ergebnisse von RepoTREND zum Benchmark für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle im Kristallingestein auf dem gemeinsamen Workshop mit UJV und SURAO am 18. und 19.11.2019.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Fertigstellung des FEP-Kataloges für das Konzept der einschlusswirksamen Barrieren (modifiziertes KBS3-Konzept).
- AP4: Erweiterung der Planung eines möglichen Experimentes zur Rückhaltung von Iod und Hydrogensulfid im Kristallingestein. Diskussion vor Ort bei der Besichtigung des Untertagelabors Bukov am 4.3.20.
- AP5: Weiterführung der Arbeiten zur Nachweisführung am Rande des ewG für die ewG-Konfigurationen Typ „überdeckender ewG“. Berechnung der in den neuen Endlager-sicherheitsanforderungen definierten Indikatoren.
Überarbeitung des mit RepoTREND aufgesetzten Rechenfalls für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle im Kristallingestein. Vorstellung der neuen Ergebnisse auf dem gemeinsamen Workshop mit UJV und SURAO am 2. und 3.3.20 bei SURAO in Prag.
Berechnung der Grundwasserströmung für die ewG-Konfigurationen Typ „überde-ckender ewG“ mit dem Grundwasserströmungs- und Transportmodell d³f⁺⁺.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11627
Vorhabensbezeichnung: Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 926.745,00 EUR	Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben zur Untersuchung der Eignung arteigener Versatz-/Verschlussmaterialien für HAW-Endlager im Tongestein hat das Ziel, geotechnische Eigenschaften von Ausbruchmaterial aus dem Opalinuston (ist dem in einem deutschen Endlager zu erwartenden Wirtsgestein am ähnlichsten - Standortmodell SÜD) und des Gemisches mit Bentonitzusatz experimentell zu bestimmen und die Eignung als Versatz- und Verschlussmaterialien zu analysieren. Dadurch soll ein verbessertes Verständnis für das Materialverhalten erreicht und eine Grundlage für eine belastbare Prognose der Langzeitprozesse im Versatz- und Verschlussystem mit Blick auf die langfristige Abdichtung eines Endlagers in einer Tonsteinformation geschaffen werden. Damit leistet das Projekt einen Beitrag zur Absicherung der Grundlagen für die Langzeitsicherheitsanalyse von HAW-Endlagern in Deutschland.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Laboruntersuchungen werden am Ausbruchmaterial aus der Auffahrung einer neuen Strecke in der sandigen Fazies des Opalinustons im Untertagelabor Mont-Terri und am Gemisch mit Bentonitzusatz in drei Arbeitspaketen durchgeführt:

- AP1: Ermittlung der geotechnischen Eigenschaften wie z. B. Kompaktion und Permeabilität des Ausbruchmaterials zur langfristigen Abdichtung der Endlagerhohlräume
- AP2: Ermittlung der geotechnischen Eigenschaften des kompaktierten Gemisches aus dem Ausbruchtonstein mit Bentonitzusatz zur Prüfung der Eignung für den Verschluss der Strecken und Schächte
- AP3: Ermittlung der geotechnischen Eigenschaften des Gemisches aus dem Ausbruchtonstein mit Bentonitzusatz zur Prüfung der Eignung als HAW-Buffermaterial bei hohen Temperaturen in Form von hochverdichteten Formsteinen für Auflager von Abfallbehältern und in Form von Granulat zur Verfüllung des Resthohlraums

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuche zur Wasseraufnahmefähigkeiten vom Ausbruchtonstein und Tonstein-Bentonit Gemisch (7/3) wurden im Oktober 2019 mit insgesamt 30 Proben in lockerem und kompaktiertem Zustand gestartet. Bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten von 30-100 % werden Wassergehalten der Proben bis zum Gleichgewicht gemessen. Damit lässt sich der Wasserrückhalt in Abhängigkeit von Saugspannung ermitteln. Die Versuche werden weiterlaufen.

Die Versuche zur Bestimmung von Quelldruck, Wasserpermeabilität und Gassperrdruck vom Bentonit mit einer Trockendichte von 1.5 g/cm^3 und Bentonit-Tonstein-Gemisch (7/3) mit einer Trockendichte von 2.0 g/cm^3 sind mit jeweiligen fünf Proben im Weiterlauf. Die Proben wurden vorher bei hohen Temperaturen von 25, 50, 100, 150 und 200 °C getrocknet, um Einflüsse von vorheizten Temperaturen auf die hydro-mechanischen Eigenschaften zu untersuchen.

Ein Langzeitversuch zur Kompaktion, Wasserpermeabilität und Gastransport im Ausbruchtonstein ist erfolgreich durchgeführt worden. Das Ausbruchmaterial mit Grobkörnern bis zu 32 mm Durchmesser wurde in einer großen Oedometerzelle stufenweise bis zu 17 MPa kompaktiert. Dabei wurden Porosität, Wasserpermeabilität und Gassperrdruck bzw. Gaspermeabilität gemessen. Die Porosität reduziert sich mit zunehmender Belastung bis zu 17 % bei 17 MPa und die entsprechende Wasserpermeabilität ist niedrig bei $10\text{-}18 \text{ m}^2$. Das hochverdichtete Tonmaterial zeigt einen sehr niedrigen Gassperrdruck von ca. 0.25 MPa im Vergleich mit der äußeren Beanspruchung.

Die Kompaktionsversuche mit vier Verschlussmaterialien in Oedometerzellen sind mit Messungen von Porosität, Wasserpermeabilität, Gassperrdruck bzw. Gaspermeabilität bei erhöhten Spannungen weiter im Lauf. Die vier Proben sind (1) kompaktierte Ausbruchtonstein-Blöcken; (2) Tonstein-Bentonit-Blöcken (7/3); (3) lockeres Bentonit-Pellet/Pulver-Gemisch (8/2) und (4) lockeres Tonstein-Bentonit-Gemisch (7/3).

4. Geplante Weiterarbeiten

- Starten der Messungen von thermischer Leitfähigkeit der untersuchten Materialien
- Fortführung der laufenden Langzeitversuche (Wasseraufnahme, Quelldruck, Kompaktion, Permeabilität, Gassperrdruck, ...)
- Planung zur Untersuchung von Temperatureinflüssen auf die hydro-mechanischen Eigenschaften der kompaktiertem Bentonit und Tonstein-Bentonit-Gemisch im Rahmen einer Aufstockung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt		Förderkennzeichen: 02 E 11637A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt A: 3D-Spannungsmodell und Aufskalierung		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl, Feld 2.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2018 bis 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 203.400,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Henk	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das tektonische Spannungsfeld in der Erdkruste wirkt sich auf eine Vielzahl der Kriterien zur Standortauswahl für die Entsorgung radioaktiver Abfälle aus. Eine verlässliche Prognose im Vorfeld von Erkundungsmaßnahmen wird allerdings dadurch erschwert, dass das Spannungsfeld in seiner Orientierung und Magnitude nicht einheitlich ist. Vielmehr können in Abhängigkeit vom Untergrundaufbau (Lithologien, Störungen) lokal deutliche Abweichungen von der überregional bekannten Spannungsverteilung auftreten. Um ein prozessbasiertes Verständnis dieser räumlichen Variabilität zu erreichen, wird ein geomechanisch-numerisches 3D-Spannungsmodell für Deutschland (Dimensionen ca. 1200 x 900 x 80 km³) erstellt. Dieses Modell wird an punktuell gemessenen Spannungsdaten kalibriert und ermöglicht auf Basis kontinuumsmechanischer Ansätze Prognosen für Bereiche ohne Spannungsdaten und die Ableitung aller sechs Komponenten des Spannungstensors. Darüber hinaus werden Modellierungswerkzeuge für räumliche Skalen übergreifende Modelle entwickelt. So wird ein konsistenter Spannungsübertrag zwischen dem Deutschland-Modell und ca. drei Größenordnungen kleineren Teilmodellen ermöglicht. Alle Arbeiten liefern die erforderlichen Grundlagen und Modellierungswerkzeuge für zukünftige geomechanische Standortmodelle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundprojekt gliedert sich in zwei Arbeitspakete (APs):

In AP1 (Teilprojekt A) wird ein großräumiges geomechanisch-numerisches 3D Spannungsmodell für Deutschland entwickelt, das an allen aktuell verfügbaren Spannungsdaten kalibriert wird.

In AP2 (Teilprojekt B) werden Modellierungstechniken zur Wahl geeigneter, skalenabhängiger Gesteins- bzw. Gebirgsparameter sowie Konzepte für die für ein entsprechendes Modellvolumen erforderlichen repräsentativen Kalibrierungsdaten untersucht.

Weitere Arbeitsziele sind die Weiterentwicklung der Modellierungswerkzeuge, welche die Grundlagen für eine zukünftige Standortcharakterisierung liefern und einen zukünftigen Standortvergleich bezüglich des Spannungsfeldes nach einheitlichen Kriterien ermöglicht und die Erstellung einer Datenbank zu Spannungsmagnituden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im zweiten Halbjahr 2019 wurde ein 3D Finite Element Modell von Deutschland und umgebenden Gebieten fertiggestellt, das aus vier Einheiten besteht: Sedimentärer Überdeckung, Ober- und Unterkruste und lithosphärischem Mantel. Mit diesem Modell konnten sowohl der bisherige Workflow weiter optimiert als auch erste Berechnungsergebnisse erzielt werden. Die Kalibrierung des Modells erfolgte dabei anhand von gemessenen Spannungsorientierungen aus dem Datensatz der World Stress Map sowie mit Hilfe der im Teilprojekt 02E11637B zusammengestellten Spannungsmagnituden. Durch die Variation der Modellrandbedingungen konnte ein Szenario berechnet werden, das diese Kalibrierungsdaten – für die aktuelle Modellauflösung – am besten repräsentiert.

Die Modellierungsergebnisse zeigen bereits eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Magnituden der kleinsten horizontalen Hauptspannung, auch wenn lokal noch deutliche Abweichungen zu beobachten sind. Diese ist der aktuell noch sehr groben Auflösung in der obersten Modelleinheit geschuldet und wird sich durch eine Verfeinerung, d. h. das Einziehen weiterer stratigraphischer Einheiten, verbessern. Auch die modellierten Orientierungen der größten horizontalen Hauptspannung zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten. Insbesondere an den Modellrändern sind die Abweichungen zu den Daten aus der World Stress Map sehr gering. Lediglich in den zentralen Modellteilen treten lokal noch deutliche Differenzen auf. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass laterale Materialunterschiede in einer Einheit, z. B. aufgrund unterschiedlicher Krustensegmente, bislang noch nicht implementiert wurden.

Im Kontext der Geometrieerstellung für das 3D Modell stellte sich die Definition der Grenzfläche zwischen der Oberkruste und der sedimentären Überdeckung als Problem heraus, da diese in den zusammengeführten Teilmodellen nicht einheitlich definiert ist. Als neue einheitliche Grenzfläche wurde die Kristallinoberfläche ausgewählt, da diese einen eindeutigen mechanischen Kontrast darstellt und Datenlücken auf Basis von gravimetrischen und magnetischen Messungen sowie seismischen Schnitten geschlossen werden konnten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2020 werden folgende Arbeitsschwerpunkte adressiert:

- Verfeinerung und Auswahl der sedimentären Einheiten, die im geomechanischen Modell implementiert werden sollen
- Unterteilung der Oberkruste in einzelne Segmente
- Auswahl und Implementierung der für das 3D-Modell relevanten Störungen
- Diskretisierung des 3D-Modells für die Finite Elemente Modellierung unter Verwendung der neu erstellten Kristallinoberfläche, den Störungen und den feiner unterteilten Einheiten in der sedimentären Überdeckung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ahlers, S., Röckel, L., Henk, A., Reiter, K., Hergert, T., Müller, B., Schilling, F., Heidbach, O., Morawietz, S., Scheck-Wenderoth, M., Anikiev, D.: SpannEnD – Modelling the 3D stress state of Germany, 2019, GeoMünster2019, 22-25 September 2019, Münster, Germany Poster

Ahlers, S., Röckel, L., Henk, A., Reiter, K., Hergert, T., Müller, B., Schilling, F., Heidbach, O., Morawietz, S., Scheck-Wenderoth, M., Anikiev, D.: Projekt SpannEnD – 3D Modellierung des tektonischen Spannungsfeldes von Deutschland, 2019, Tage der Standortauswahl – 3. Fachworkshop der Bundesgesellschaft für Endlagerung, 12.-14. Dezember 2019, Braunschweig, Germany Poster

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam		Förderkennzeichen: 02 E 11637B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt B: Multiskalenansatz		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl, Feld 2.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2018 bis 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 228.586,00 EUR	Projektleiter: Dr. Heidbach	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das tektonische Spannungsfeld in der Erdkruste wirkt sich auf eine Vielzahl der Kriterien zur Standortauswahl für die Entsorgung radioaktiver Abfälle aus. Eine verlässliche Prognose im Vorfeld von Erkundungsmaßnahmen wird allerdings dadurch erschwert, dass das Spannungsfeld in seiner Orientierung und Magnitude nicht einheitlich ist. Vielmehr können in Abhängigkeit vom Untergrundaufbau (Lithologien, Störungen) lokal deutliche Abweichungen von der überregional bekannten Spannungsverteilung auftreten. Um ein prozessbasiertes Verständnis dieser räumlichen Variabilität zu erreichen, wird ein geomechanisch-numerisches 3D Spannungsmodell für Deutschland (Dimensionen ca. 1200 x 900 x 80 km³) erstellt. Dieses Modell wird an punktuell gemessenen Spannungsdaten kalibriert und ermöglicht auf Basis kontinuumsmechanischer Ansätze Prognosen für Bereiche ohne Spannungsdaten und die Ableitung aller sechs Komponenten des Spannungstensors. Darüber hinaus werden Modellierungswerkzeuge für räumliche Skalen übergreifende Modelle entwickelt. So wird ein konsistenter Spannungsübertrag zwischen dem Deutschland-Modell und ca. drei Größenordnungen kleineren Teilmodellen ermöglicht. Alle Arbeiten liefern die erforderlichen Grundlagen und Modellierungswerkzeuge für zukünftige geomechanische Standortmodelle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundprojekt gliedert sich in zwei Arbeitspakete (APs):

In AP1 (Teilprojekt A) wird ein großräumiges geomechanisch-numerischen 3D Spannungsmodells für Deutschland entwickelt, das an allen aktuell verfügbaren, tatsächlich gemessenen Spannungswerten kalibriert wird.

In AP2 (Teilprojekt B) werden Modellierungstechniken zur Wahl geeigneter, skalenabhängiger Gesteins- bzw. Gebirgsparameter sowie Konzepte für die für ein entsprechendes Modellvolumen erforderlichen repräsentativen Kalibrierungsdaten untersucht.

Weitere Arbeitsziele sind die Weiterentwicklung der Modellierungswerkzeuge, welche die Grundlagen für eine zukünftige Standortcharakterisierung liefern und einen zukünftigen Standortvergleich bezüglich des Spannungsfeldes nach einheitlichen Kriterien ermöglicht und die Erstellung einer Datenbank zu Spannungsmagnituden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Frau Morawietz hat die Kompilation der Spannungsmagnitudendaten Deutschlands und angrenzender Gebiete mit 568 frei verfügbaren Datensätzen abgeschlossen. Datensätze, für die noch nicht die Freigabe vorliegt, wurden bisher nicht aufgenommen, können aber für die Modellkalibrierung anonymisiert verwendet werden.

Ebenso wurde ein *Quality Ranking Scheme* für Spannungsmagnitudendaten entwickelt, welches die einzelnen Datenpunkte nach Indikatormethode und Qualität der Dokumentation bewertet, und auf die Daten angewendet. Zu diesen Arbeiten wurde eine umfangreiche Publikation verfasst und in einem internationalen Journal Ende 2019 zur Veröffentlichung eingereicht. Die Daten werden sowohl im Anhang der Publikation in Form einer ASCII Datei frei verfügbar sein (*Open Access*), als auch über das GFZ Data Service mit einer DOI. Im Laufe des zweiten Halbjahre 2020 wird angestrebt, diese Daten in die neue Datenbankstruktur des World Stress Map (WSM) Projektes zu überführen, um den langfristigen öffentlichen Zugang zu sichern. Die aktuelle WSM Datenbank wird derzeit sowohl technisch (neue Datenbankstruktur) als auch inhaltlich (Hinzunahme der Spannungsmagnitudendaten) in Zusammenarbeit mit Frau Steffi Lammers, der Datenbank-Spezialistin in der Arbeitsgruppe Heidbach am GFZ Potsdam weiterentwickelt.

Die Zuweisung von Daten-Qualitäten zu den Spannungsmagnitudendatensätzen sind für das komplementäre Teilprojekt A des KIT und der TU Darmstadt von zentraler Bedeutung, da die 3D geomechanisch-numerischen Modelle, die in diesem Teilprojekt entwickelt werden, mit den vorliegenden Spannungsmagnitudendaten gewichtet kalibriert werden sollen. Darüber hinaus wurden Datensätze mit sehr guten Qualitäten identifiziert und sichergestellt, dass diese in lithologischen Horizonten liegen, die auch mit entsprechenden Steifigkeiten in dem Deutschlandmodell repräsentiert sind.

Weitere Arbeiten wurden für die Entwicklung eines Konzeptes durchgeführt, mit dem Punktdaten z. B. aus Mini-Fracs in einem abgepackten vertikalen Bereich von < 1 m in einem Bohrloch für die Kalibrierung eines 3D geomechanisch-numerischen Modells mit lateral Abmaßen von 10er Kilometern und einer vertikalen Auflösung von 10-20 m verwendet werden. Hierfür werden uns die Daten aus der Bohrung Bülach in der Nordschweiz zur Verfügung stehen. Es wurde ein geomechanisch-numerisches Modell einer Bohrung erstellt, mit dem in 2020 erste semi-generische Tests durchgeführt werden. Weiterhin wurde ein Konzept zur Verbindung mit Modellen von 10er auf 10.000 m Skala erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für das erste Halbjahr 2020 werden folgende Arbeitsschwerpunkte adressiert:

- Finalisierung der Publikation des Papers mit der Beschreibung der Spannungsmagnituden-Datenbank (Einarbeitung der Kommentare, die im Review-Prozess auftauchen)
- Präsentation der Ergebnisse auf der internationalen EGU Tagung in Wien im Mai 2020
- Start der generischen geomechanisch-numerischen Modelle zum „multi-scale“ Ansatz von der Bohrlochdimension über das Nahfeld (10-100 m) in das Fernfeld (km-Skala)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Morawietz, A., Heidbach, O., Ziegler, M., Reiter, K., Rajabi, M., Zimmermann, G., Müller, B., and Tingay, M. (subm.): An open-access stress magnitude database for Germany and adjacent regions, Geothermal Energy

Morawietz, A., Heidbach, O., Ziegler, M., Reiter, K., Rajabi, M., Zimmermann, G., Müller, B., and Tingay, M. (2020): Stress magnitude database for Germany and adjacent regions, GFZ Data Services, <https://doi.org/10.5880/WSM.2020.004>

Morawietz, S., Heidbach, O., Reiter, K., Ziegler, M.: Team SpannEnD (2019): Would you like stress? GeoMünster 2019, 22.–25. September 2019, Münster.

Morawietz, S., Heidbach, O., Reiter, K., Ziegler, M.: Team SpannEnD (2019): Datenbank zu Magnituden von Gebirgsspannungen in Deutschland. Tage der Standortauswahl, 12.-14.12.2019, Braunschweig

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe		Förderkennzeichen: 02 E 11637C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt C: Geomechanik von Sedimentbecken		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl, Feld 2.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2018 bis 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 175.974,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schilling	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das tektonische Spannungsfeld in der Erdkruste wirkt sich auf eine Vielzahl der Kriterien zur Standortauswahl für die Entsorgung radioaktiver Abfälle aus. Eine verlässliche Prognose im Vorfeld von Erkundungsmaßnahmen wird allerdings dadurch erschwert, dass das Spannungsfeld in seiner Orientierung und Magnitude nicht einheitlich ist. Vielmehr können in Abhängigkeit vom Untergrundaufbau (Lithologien, Störungen) lokal deutliche Abweichungen von der überregional bekannten Spannungsverteilung auftreten. Um ein prozessbasiertes Verständnis dieser räumlichen Variabilität zu erreichen, wird ein geomechanisch-numerisches 3D Spannungsmodell für Deutschland (Dimensionen ca. 1200 x 900 x 80 km³) erstellt. Dieses Modell wird an punktuell gemessenen Spannungsdaten kalibriert und ermöglicht auf Basis kontinuumsmechanischer Ansätze Prognosen für Bereiche ohne Spannungsdaten und die Ableitung aller sechs Komponenten des Spannungstensors. Darüber hinaus werden Modellierungswerkzeuge für räumliche Skalen übergreifende Modelle entwickelt. So wird ein konsistenter Spannungsübertrag zwischen dem Deutschland-Modell und ca. drei Größenordnungen kleineren Teilmodellen ermöglicht. Alle Arbeiten liefern die erforderlichen Grundlagen und Modellierungswerkzeuge für zukünftige geomechanische Standortmodelle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundprojekt gliedert sich in zwei Arbeitspakete (APs):

In AP1 (Teilprojekt A) wird ein großräumiges geomechanisch-numerisches 3D Spannungsmodell für Deutschland entwickelt, das an allen aktuell verfügbaren Spannungsdaten kalibriert wird.

In AP2 (Teilprojekt B) werden Modellierungstechniken zur Wahl geeigneter, skalenabhängiger Gesteins- bzw. Gebirgsparameter sowie Konzepte für die für ein entsprechendes Modellvolumen erforderlichen repräsentativen Kalibrierungsdaten untersucht.

Weitere Arbeitsziele sind die Weiterentwicklung der Modellierungswerkzeuge, welche die Grundlagen für eine zukünftige Standortcharakterisierung liefern und einen zukünftigen Standortvergleich bezüglich des Spannungsfeldes nach einheitlichen Kriterien ermöglicht und die Erstellung einer Datenbank zu Spannungsmagnituden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die laterale Erweiterung des Ausgangsmodells im Westen (Frankreich und Schweiz) und Osten (Österreich, Tschechien, Slowakei und Ungarn) des Modells wurde abgeschlossen. Am 06.11.2019 wurde in einem Projekttreffen zwischen TUDA, GFZ und KIT das weitere Vorgehen insbesondere im Hinblick auf die vertikale Auflösung besprochen. Aufgrund der begrenzten Elementanzahl kann vertikal nur eine beschränkte Anzahl an geologischen Schichten in das Modell eingebaut werden. Deshalb müssen hier Vereinfachungen erfolgen und Kriterien für eine sinnvolle Selektion festgelegt werden. Die zu implementierenden Schichten wurden in einem Treffen zwischen TUDA und KIT am 28.11.2019 in Darmstadt bestimmt. Als wesentliche Kriterien wurden die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten in den mechanischen Eigenschaften der Schichten und die Verfügbarkeit von Spannungsdaten verwendet.

Um das Deutschland-Modell adäquat parametrisieren zu können, müssen repräsentative Parameter für mechanische Eigenschaften der zu implementierenden Schichten bestimmt werden. Besonders relevant ist beispielsweise der E-Modul. Da nur eine limitierte Anzahl an Schichten im Modell aufgelöst werden können, müssen die Werte der Parameter so gewählt werden, dass sie die Schichten bestmöglich widerspiegeln. Hierzu wurde die P³-Datenbank von C. Bär entsprechend der für das Modell gewählten Stratigraphie aufgearbeitet und sortiert. Erste statistische Parameter wurden erhoben und Karten zur geographischen Verteilung der Parameter-Werte erstellt. Dabei hat sich gezeigt, dass für einige Schichten kaum oder keine Werte für bestimmte Parameter vorliegen.

Das Tool ApplePy soll genutzt werden, um ein schnell zu generierendes reguläres Mesh mit den aus einem stratigraphischen Modell abgeleiteten unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften belegen zu können.

Um die Anwendbarkeit dieses Tools und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu testen, wurde ein Testmodell für einen Teil des alpinen Molassebeckens mit der ApplePy-Methode erstellt und die Ergebnisse der numerischen Simulationen mit denen aus einem bestehenden klassisch erstellten Modell verglichen. Beiden Modellen wurden die gleichen Randbedingungen auferlegt.

Dieser Vergleich der beiden Modellansätze ist noch nicht endgültig abgeschlossen. Abweichungen gibt es besonders im Bereich von Störungen und geringmächtigen Schichten. Diese werden weiter untersucht, um Erklärungen für die Unterschiede herauszufinden. Hieraus können wichtige Rahmenbedingungen für die Anwendung im Deutschlandmodell abgeleitet werden, die ohne vorherigen Test nicht hätten festgestellt werden können.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Arbeiten des ApplePy Test durch den Vergleich der beiden Modellansätze
- Weiterarbeit bei der Auswertung der P³-Parameterdatenbank von C. Bär
- Nachverdichten der Parameterdaten aus weiteren Quellen
- Zuarbeit zu den Arbeiten an der TUDA, da dort das Gesamt- Modell zusammengestellt wird
- Abschluss einer deutschsprachigen Veröffentlichung zur Bedeutung des Spannungsfelds in der Bewirtschaftung des Untergrunds
- Erstellung eines Flyers zum SpannEnD-Projekt

5. Berichte, Veröffentlichungen

SpannEnD – Modelling the 3D stress state of Germany, 2019, Röckel, L., Ahlers, S., Morawietz, S., Müller, B., Schilling, F., Reiter, K., Henk, A., Hergert, T., Heidbach, O., Anikiev, D., Scheck-Wenderoth, M.: Student Technical Congress (STC 2019), 14.-15. November 2019 Aachen, Germany

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11647
Vorhabensbezeichnung: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern (WiGru 8)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2018 bis 31.03.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.410.535,00 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 einem Safety Case und Einbringung nationaler Interessen in internationale Aktivitäten, insbesondere durch Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen der OECD/NEA.
- Weiterentwicklung von Strategien und methodischen 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 sowie Identifizierung offener Fragen und Initiierung neuer FuE-Projekte.

TA2: Bearbeitung von Schwerpunktthemen

- Vergleich der Ansätze und Herangehensweisen verschiedener Länder zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Weiterentwicklung der eigenen Ansätze. Schwerpunkte sind Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen sowie die Erstellung eines internationalen FEP-Katalogs für Endlager in Salzformationen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

TA1:

- Teilnahme an der IGSC Sitzung in Paris. Vorbereitung und Mitarbeit bei der gemeinsamen Topical Session mit dem „Forum of Stakeholder Confidence“ (FSC) zum Thema „Managing Uncertainty in Siting and Implementation – Creating a Dialogue between Science and Society“.
- Mitarbeit bei der Vorbereitung der IDKM-Roadmap.

- Teilnahme am Symposium zu Wissenserhalt und Markierung von geologischen Tiefenlagern in Zürich mit einem Vortrag zum Thema „Set of essential Records“.
- Abschluss inkl. Dokumentation der FEP-Aktivitäten des NEA Salt Club in einem gemeinsamen Bericht von COVRA, GRS und Sandia National Labs (SNL).
- Teilnahme am Meeting der EBS Task Force in Sitges. Präsentation neuer Ergebnisse zu Task 9 FEBEX.
- Sichtung von Analoga-Studien zur Untermuerung von Sicherheitsnachweisen für Endlagerkonzepte im Kristallingestein und Vortrag zum 15.NAWG Workshop.
- Teilnahme am Abschlusstreffen des IAEA Projekts MODARIA 2.
- Planung des 4. OECD/NEA Crystalline Club Plenary Meetings (CRC-4) im Juni 2020 in Deutschland. Diskussion des Program of Work (PoW) 2021 – 2022.

TA2:

- Weiterführung der Analyse von Modellsystemen anderer Länder im Rahmen der gemeinsamen Aktivität zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse. Anwendung der in MOSEL identifizierten Methoden auf weitere Modellsysteme aus USA und Belgien. Vergleich der Ergebnisse in internationaler Kooperation. Darstellung einzelner Ergebnisse auf der SAMO 2019 in Barcelona. Durchführung weiterer Tests mit den Methoden RS-HDMR und BSPCE.
- Durchführung eines internationalen Workshops zum Thema Sensitivitätsanalyse im November 2019 in Berlin.

4. Geplante Weiterarbeiten

TA1:

- Teilnahme an der kommenden Sitzung der RWMC, der nächsten IGSC Core Group Sitzung und dem Workshop und weiteren Treffen zur IDKM Arbeitsgruppe.
- Abfassen eines Berichts über die Arbeiten zu Task 9 FEBEX.
- Teilnahme am nächsten EBS Task Force Meeting in Berkeley, USA.
- Zusammenstellung von Analoga-Studien für Endlagerkonzepte in Kristallingestein auf Basis der im Vorhaben CHRISTA-II entwickelten FEP-Kataloge.
- Erstellung eines NEA-Berichts zu FEP Datenbank und Salt Knowledge Archive.
- Teilnahme am Workshop zu Szenarien im Salz bei SNL in Albuquerque, NM.
- Planung und Durchführung des CRC-4 Meetings im Juni 2020 in Deutschland. Fertigstellung des CRC Status Reports.

TA2:

- Integration der Methoden RS-HDMR und/oder BSPCE in das vorhandene Instrumentarium.
- Durchführung von Analysen weiterer Modellsysteme aus anderen Ländern im Rahmen der gemeinsamen Aktivität zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse. Ein weiteres Modell zur Grundwasserströmung wurde vom neuen Partner IBRAE beigesteuert. Vergleich der Ergebnisse in internationaler Kooperation. Durchführung einer gemeinsamen Sitzung zur Diskussion der Ergebnisse und des weiteren Vorgehens.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11658A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 30.04.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 466.700,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Um die im Rahmen von ANSICHT-I entwickelte Nachweismethodik zu prüfen, sollen im Rahmen von ANSICHT-II noch ausstehende Einzelnachweise demonstrativ dargestellt und damit die Nachweisführung illustriert werden. Offene Fragen im Nachweissystem, die zur einwandfreien Nachweisführung geklärt werden müssen, sollen identifiziert und klar dargestellt werden. Ziel ist es, durch die Gesamtschau der Einzelnachweise, die in ANSICHT-I entwickelte Nachweismethodik zu evaluieren, ggf. Schwachstellen aufzuzeigen und Verbesserungsansätze zu liefern. Darüber hinaus wird diese Betrachtung aufzeigen, welche Daten, im Rahmen einer Standorterkundung, zielgerichtet erhoben werden müssen, damit die Nachweise Integrität der geologischen Barriere, Integrität der geotechnischen Barrieren und Radiologischer Nachweis, in geeigneter Weise geführt werden können.

Die Bearbeitung wird gemeinsam durch BGR, GRS und BGE TECHNOLOGY durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Darstellung und Evaluierung des Integritätsnachweises für die geologische Barriere
- AP2: Darstellung und Evaluierung der Integritätsnachweise für das geotechnische Barriere-system
- AP3: Darstellung des radiologischen Nachweises
- AP4: Berichtswesen

GRS ist federführend für das Arbeitspaket 3. Dieses gliedert sich in die Unteraufgaben:

- AP3.1: 3D-Radionuklid-Transportrechnungen mit d^{3f++}
- AP3.2: Integrierte 1D-Radionuklid-Transportrechnungen mit CLAYPOS
- AP3.3: Integrierte Radionuklid-Transportrechnungen mit REPOTREND
- AP3.4: Rechnungen zum Radionuklidtransport in der Gasphase mit TOUGH2
- AP3.5: Bewertung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP3.1: Die Daten zum geologischen Modell der BGR wurden in die GIS-Software zur Erstellung eines hydrogeologischen Modells für die Rechnung zur Grundwasserströmung mit d³f++ übernommen. Es wurde das Vorgehen zur Erstellung eines hydrogeologischen Modells mit der BGR abgestimmt.
- AP3.2: Es wurden deterministische Parametervariationen durchgeführt, bei denen die Sensitivität derjenigen Parameter in dem langzeitsicherheitsanalytischen Rechenmodell getestet wurde, die Abwägungskriterien des StandAG entsprechen.
Die Bandbreiten der Parameterungewissheiten der Eingangsgrößen für das Endlagerstandortmodell ANSICHT-Nord wurden festgelegt und probabilistische Rechnungen zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Es wurde weiterhin eine Rechnung mit den langzeitsicherheitsanalytischen Rechenprogrammen für ein Modell durchgeführt, das dem für AP3.4 modifizierten Modell für die Rechnungen mit TOUGH2 entspricht. Diese Rechnungen dienen als Vergleich zu den Rechnungen in AP3.4, um die Auswirkungen der vereinfachten Modellgeometrie der langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen zu testen.
- AP3.4: Es wurden Rechnungen zum Gas- und Radionuklidtransport für ein modifiziertes Endlagerstandortmodell Nord mit der TOUGH2-Version von PETRASIM durchgeführt. Dabei wurde eine Vielzahl von Parametervariationen vorgenommen, um die relevanten Transportparameter für das Modell zu ermitteln. Für den Basisfall wurde eine Vergleichsrechnung mit der Programmversion TOUGH2-GRS durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3.1: Erstellung des hydrogeologischen Modells für die Rechnung zur Grundwasserströmung mit d³f++. Durchführung von Modellrechnungen zur Grundwasserströmung und zum Radionuklidtransport.
- AP3.2: In den bisher durchgeführten Rechnungen zur Langzeitsicherheit wurde als Indikator für die Freisetzung der im Rahmen des Vorhabens ISIBEL entwickelte radiologische Geringfügigkeitsindex (RGI) berechnet, der einem normierten Radionuklidstrom aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich entspricht. Durch die Überarbeitung der Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle werden neue Indikatoren zur Bewertung der Endlagersicherheit relevant. Diese werden mit zusätzlichen Rechnungen getestet, sobald die neuen Sicherheitsanforderungen veröffentlicht sind.
- AP3.3: Durchführung von Testrechnungen mit dem in Entwicklung befindlichen Nahfeldmodul RepoTREND.
- AP3.4: Dokumentation der im AP3.4 durchgeführten Rechnungen. Vergleich der Rechnungen mit den Ergebnissen der Rechnungen in AP3.2 und Bewertung der Unterschiede. Durchführung von weiteren Parametervariationen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11658B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 30.04.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 479.565,24 EUR	Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Um die im Rahmen des Vorhabens ANSICHT entwickelte Nachweismethodik zu prüfen, sollen im Rahmen dieses Vorhabens noch ausstehende Einzelnachweise demonstrativ dargestellt und damit die Nachweisführung illustriert werden. Offene Fragen im Nachweissystem, die zur einwandfreien Nachweisführung geklärt werden müssen, sollen identifiziert und klar dargestellt werden. Ziel ist es, durch die Gesamtschau der Einzelnachweise die in ANSICHT entwickelte Nachweismethodik zu evaluieren, ggf. Schwachstellen aufzuzeigen und Verbesserungsansätze zu liefern. Darüber hinaus soll diese Betrachtung aufzeigen, welche Daten, im Rahmen einer Standorterkundung, zielgerichtet erhoben werden müssen, damit ein Nachweis in geeigneter Weise geführt werden kann.

Um diese Ziele zu erreichen, werden sämtlicher Einzelnachweise, die für ein komplettes geotechnisches Barrierensystem im Tonstein durchgeführt werden müssten, illustrativ ausgeführt. Gegebenenfalls werden Anpassungen an den Konzepten vorgenommen, die eine verbesserte Nachweisführung erlauben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Darstellung und Evaluierung des Integritätsnachweises für die geologische Barriere (Federführung BGR)
- AP2: Darstellung und Evaluierung der Integritätsnachweise für das (geo)technische Barrierensystem (Federführung BGETEC)
- AP3: Darstellung des radiologischen Nachweises am Rand des ewG (Federführung GRS)
- AP4: Berichtswesen (Federführung (BGETEC)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zum Arbeitspaket 2 weitergeführt. Grundlage für den Integritätsnachweis stellen die Kriterien dar, anhand derer die Integrität nachgewiesen werden kann. In Anlehnung an den international anerkannten Stand der Technik geschieht der Nachweis unter Anwendung der Methode der Teilsicherheits-beiwerte. Dieses semiprobabilistische, zuverlässigkeitsorientierte Sicherheitsnachweiskonzept beruht auf dem Regelwerk der Eurocodes (JRC & DG-ENTR 2008) und wurde von Eberth & Müller-Hoeppe (2009), Müller-Hoeppe (2012a) und Herold et al. (2020) für geotechnische Barrieren angewendet.

Der Nachweis zur strukturellen Integrität umfasst sechs Einzelnachweise:

- Strukturelle Stabilität (auch als ‚Tragfähigkeit‘ bezeichnet)
- Rissbeschränkung
- Verformungsbeständigkeit
- Filterstabilität
- Langzeitbeständigkeit (auch als ‚Dauerhaftigkeit‘ bezeichnet)
- Herstellbarkeit.

Grundsätzlich neu in diesem Zusammenhang sind die Kriterien zur Filterstabilität von kohäsiven Materialien wie beispielsweise Bentonit. Kohäsive Materialien sind zwar gegen jede Form von Materialtransport weniger empfindlich als nicht kohäsive Materialien, aber bei entsprechender Strömungsbelastung können größere Materialteile, sogenannte Aggregate, aus dem Verbund herausgelöst werden. Kohäsive Materialien können an spannungsfreien Grenzflächen (z. B. an Rissflächen und Hohlräumen infolge von Herstellungsfehlern oder natürlichen Einflüssen) so viel Wasser aufnehmen, dass sie ihre inneren Bindungskräfte und damit ihre Festigkeit nahezu vollständig verlieren. In Verbindung mit strömendem Wasser erhöht sich die Gefahr des Materialtransports (BAW 2013). Für den Nachweis der Filterstabilität wird grundsätzlich zwischen zwei Arten des Materialtransports unterschieden. Diese werden als Suffosion und Erosion bezeichnet. Für Dichtelemente aus Bentonit sind die Kontakterosion und die Fugenerosion, auch als „Piping“ bezeichnet, relevant. Für beide Erosionsarten wurden entsprechende Kriterien formuliert bei deren Einhaltung im Zuge der Nachweisführung gezeigt werden kann, dass derartige Erosionen nicht zu erwarten sind.

Im Berichtszeitraum wurden für alle Komponenten des im Rahmen des ANSICHT Projektes entwickelten Verschlussystems Kriterien für jeden der zu führenden Einzelnachweise, mit Ausnahme der Dauerhaftigkeit, im Entwurf aufgestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung der Einzelnachweise zur strukturellen Integrität der einzelnen Barrieren
- Durchführung des Dichtheitsnachweises für das gesamte Barrierensystem im Zusammenspiel aller Barrieren

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11668A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 28.02.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 986.599,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt SMILE (Partner: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR) und Institut für Nukleare Entsorgung des KIT (KIT-INE)) basiert auf den Erkenntnissen der Vorhaben ESTRAL und WEIMAR, in denen das Smart-K_d Konzept für Langzeitsicherheitsanalysen entwickelt, optimiert und in das Rechenprogramm r³t implementiert wurde. In SMILE sollen (i) das bisher entwickelte Konzept um den Einfluss von Redoxreaktionen erweitert, (ii) die chemische Beschreibung durch die Ermittlung der Stöchiometrie, Struktur und thermodynamischer Parameter wichtiger Oberflächenkomplexe weiter untermauert, (iii) unterschiedliche State-of-the-art Oberflächenkomplexmodelle zur Auswertung von vorhandenen experimentellen Daten angewandt, (iv) die Sorptions-Datenbasis durch geeignete Batch- und Säulenexperimente weiter ergänzt und (v) das Konzept durch gezielte Experimente und Modellierung von naturnahen Systemen kritisch überprüft werden. Das hier zu entwickelnde Konzept wird sowohl auf andere Formationen als auch auf andere Codes übertragbar sein und somit auch einen Wissenstransfer zu anderen Forschungsfeldern gestatten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzepterweiterung
(Weiterentwicklung des konzeptuellen Modells: Implementierung von Redox-Prozessen, Erarbeitung eines Konzepts zur Berücksichtigung organischer Liganden)
- AP2: Verifizierung des erweiterten WEIMAR-Konzepts
(Vergleichsrechnungen für einfache Testfälle mit PHREEQC bzw. PHAST)
- AP3: Titrations-, Sorptions- und Transportexperimente
(Durchführung von Laborexperimente u. a. im Rahmen von Bachelor-/Masterarbeiten)
- AP4: Parametrisierung und Berechnung von Smart-K_d-Matrizen
(Ableitung thermodynamischer Sorptionsdaten und K_d-Berechnung für das erweiterte Konzept)
- AP5: Großräumige Anwendungsrechnungen
(Strömungs- und Transportrechnungen für ausgewählte Modellgebiete)
- AP6: Qualitätsmanagement/Dokumentation/Internetseite

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Durchführung von drei weiteren Arbeitstreffen zur Entwicklung des Konzepts für die Implementierung der Redoxprozesse. Überarbeitung des aktuellen WEIMAR-Konzepts im Hinblick auf die in AP2 festgestellten Abweichungen.
- AP2: Durchführung von Rechnungen mit d^3f^{++} zum WEIMAR-Konzept (ohne Redoxprozesse) und Vergleich mit den Ergebnissen von PHAST-Rechnungen. Identifizierung von Abweichungen und der dafür verantwortlichen Ungenauigkeiten.
- AP3: Abschluss einer Bachelor-, einer Masterarbeit und einer Studienarbeit zur Erweiterung der Datengrundlage von Sorptionsprozessen von Eu an verschiedenen Quarzen und Orthoklas.
 Abschluss von Eu-Sorptionsexperimenten in Anwesenheit von Liganden und Verifizierung eines neuen, effizienteren Batch-Versuchsaufbaus.
 Durchführung umfangreicher Titrationsexperimente zur Beschreibung des Oberflächenladungsverhaltens von Quarz und Orthoklas.
 Anfängliche Auswertung der gesammelten Titrationsdaten und Erstellung eines neuen, optimierten Oberflächenladungsmodells.
 Planung und Betreuung von ergänzenden Batchsorptionsversuchen in Systemen mit Ni, Quarz, Orthoklas und Muskovit.
 Vorbereitung einer Veröffentlichung zur Sorption von Ac, Ln an Feldspäten.
- AP6: Durchführung eines Arbeitstreffens mit den Verbundpartnern in Dresden zur Diskussion der Ergebnisse und Koordinierung der weiteren Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Durchführung weiterer Arbeitstreffen zur Weiterentwicklung des Konzepts zur Implementierung von Redoxprozessen.
- AP2: Entwicklung einer Vorgehensweise zur Verifizierung des aktualisierten WEIMAR-Konzepts inklusive Redoxprozesse und Fortführung der Verifikationsrechnungen mit dem Code PHAST.
- AP3: Veröffentlichung der Publikation zur Sorption von Ac, Ln an Feldspäten.
 Abschluss von Transportexperimenten zur Sorption von Eu, Y an Quarz.
 Durchführung von Batchexperimenten zur Sorption von Eu an einem synthetischen Mineral sowie in einem künstlichen Grundwasser.
 Planung und Betreuung von Batchsorptions- und Säulenversuchen in Systemen mit Ni bei erhöhter Ionenstärke (Säulenv.) und komplexeren Systemen mit multikomponenten Wechselwirkungen.
- AP6: Durchführung eines weiteren Projekttreffens mit den Verbundpartnern HZDR und KIT-INE in Karlsruhe.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Tanja Frank: Experimente und Modellierung zum Sorptionsverhalten von Europium unter Ligandeneinfluss. Masterarbeit, Technische Universität Clausthal, Dezember 2019
 Tobias Koschade: Sorption von Europium an Quarz und Orthoklas. Durchführung und inverse Modellierung von Batch-Sorptionsexperimenten zur Bestimmung von Oberflächenkomplexparametern. Bachelorarbeit, Technische Universität Clausthal, Dezember 2019

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11668B
Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 28.02.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 580.851,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt SMILE (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, und Institut für Nukleare Entsorgung des KIT (KIT-INE)) basiert auf den Erkenntnissen der Vorhaben ESTRAL und WEIMAR, in denen das Smart-K_d Konzept für Langzeitsicherheitsanalysen entwickelt, optimiert und in das Rechenprogramm r^{3t} implementiert wurde. In SMILE sollen (i) das bisher entwickelte Konzept um den Einfluss von Redoxreaktionen erweitert, (ii) die chemische Beschreibung durch die Ermittlung der Stöchiometrie, Struktur und thermodynamischer Parameter wichtiger Oberflächenkomplexe weiter untermauert, (iii) unterschiedliche State-of-the-art Oberflächenkomplexmodelle zur Auswertung von vorhandenen experimentellen Daten angewandt, (iv) die Sorptions-Datenbasis durch geeignete Batch- und Säulenexperimente weiter ergänzt und (v) das Konzept durch gezielte Experimente und Modellierung von naturnahen Systemen kritisch überprüft werden. Das hier zu entwickelnde Konzept ist sowohl auf andere Formationen als auch auf andere Codes übertragbar und gestatte somit auch einen Wissenstransfer zu anderen Forschungsfeldern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzepterweiterung
(Weiterentwicklung des konzeptuellen Modells: Implementierung von Redox-Prozessen, Erarbeitung eines Konzepts zur Berücksichtigung organischer Liganden)
- AP2: Verifizierung des erweiterten WEIMAR-Konzepts
(Vergleichsrechnungen für einfache Testfälle mit PHREEQC bzw. PHAST)
- AP3: Titrations-, Sorptions- und Transportexperimente
(Durchführung von Laborexperimente u. a. im Rahmen von Bachelor-/Masterarbeiten)
- AP4: Parametrisierung und Berechnung von Smart-K_d-Matrizen
(Ableitung thermodynamischer Sorptionsdaten und K_d-Berechnung für das erweiterte Konzept)
- AP5: Großräumige Anwendungsrechnungen
(Strömungs- und Transportrechnungen für ausgewählte Modellgebiete)
- AP6: Qualitätsmanagement/Dokumentation/Internetseite

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Umsetzung der Strategie für die Implementierung der Redoxprozesse in ein entsprechendes MS Excel-Tableau und in Pseudocode.
- AP2: Aktualisierung des Konzeptes zur Calcit-Geochemie (Berücksichtigung variabler Ionenstärken, Dichtekorrektur für Lösung), Zuarbeiten zur Implementierung in d³f⁺⁺.
- AP3: Feldspäte: Neubestimmung der Protolysekonstante für Orthoklas erfolgte, Entwicklung eines generischen Modells der Sorption dreiwertiger Metallionen ist weit fortgeschritten, Publikation zusammen mit spektroskopischen Daten steht kurz vor Fertigstellung; Erste SXD Experimente mit dem neuen Substrat (natürliche und synthetische Orthoklas-Einkristalle) wurden erfolgreich durchgeführt.
Muskovit: Th-Sorptionsmechanismus: Hintergrundelektrolyten zeigen starken Einfluss auf die Thorium-Oligomerisierung, ergänzende Datensätze wurden gewonnen und Publikation begonnen; SXD-Austauschexperimente in Anwesenheit von Sulfat zur Bestimmung des log K von YSO₄⁺.
Eisenphasen: Entwicklung einer sicheren Arbeitsvorschrift zur Durchführung von AFM-Messungen mit Plutonium.
- AP6: Projekttreffen mit den Verbundpartnern GRS und KIT-INE in Dresden (2.+3.12.19), Update der Internet-Präsenz unter www.smartkd-concept.de.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Test des Konzeptes zur Implementierung von Redoxprozessen für ein erweitertes Set an Rahmenbedingungen und Fe-Phasen, Arbeitstreffen mit dem G-CSC Frankfurt zur entsprechenden Codierung.
- AP2: Entwicklung einer Vorgehensweise zur Verifizierung des aktualisierten WEIMAR-Konzeptes, Übertragung der Änderungen im Calcit-Teil auf den Gibbsit-Teil.
- AP3: Orthoklas-Publikation soll zeitnah fertiggestellt und eingereicht werden, anschließend soll das entwickelte Konzept auf Na- und Ca-Feldspäte erweitert werden; Orthoklas SXD: Datenanalyse und Vorbereitung der aktiven Experimente (Americium).
Abschließende Datenanalyse und Fertigstellung der Publikation zum Th-Sorptionsmechanismus; Fortführung Charakterisierung und Aufklärung des Einflusses des Hintergrundelektrolyten (nitratfreies System).
Durchführung von Batchversuchen zur Charakterisierung von Pu(III) Sorption auf Hämatit und Vorbereitung von SXD Experimenten.
- AP6: Durchführung eines weiteren Projekttreffens mit den Verbundpartnern GRS und KIT-INE in Karlsruhe (16.+17.6.20), kontinuierliche Pflege der Internet-Präsenz.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie(KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11668C
Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 28.02.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 117.142,34 EUR	Projektleiter: Dr. Lützenkirchen	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt SMILE (Partner: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR) und Institut für Nukleare Entsorgung des KIT (KIT-INE)) basiert auf den Erkenntnissen der Vorhaben ESTRAL und WEIMAR, in denen das Smart-K_d Konzept für Langzeitsicherheitsanalysen entwickelt, optimiert und in das Rechenprogramm r³t implementiert wurde. In SMILE sollen (i) das bisher entwickelte Konzept um den Einfluss von Redoxreaktionen erweitert, (ii) die chemische Beschreibung durch die Ermittlung der Stöchiometrie, Struktur und thermodynamischer Parameter wichtiger Oberflächenkomplexe weiter untermauert, (iii) unterschiedliche State-of-the-art Oberflächenkomplexmodelle zur Auswertung von vorhandenen experimentellen Daten angewandt, (iv) die Sorptions-Datenbasis durch geeignete Batch- und Säulenexperimente weiter ergänzt und (v) das Konzept durch gezielte Experimente und Modellierung von naturnahen Systemen kritisch überprüft werden. Das hier zu entwickelnde Konzept wird sowohl auf andere Formationen als auch auf andere Codes übertragbar sein und somit auch einen Wissenstransfer zu anderen Forschungsfeldern gestatten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzepterweiterung
(Weiterentwicklung des konzeptuellen Modells: Implementierung von Redox-Prozessen, Erarbeitung eines Konzepts zur Berücksichtigung organischer Liganden)
- AP2: Verifizierung des erweiterten WEIMAR-Konzepts
(Vergleichsrechnungen für einfache Testfälle mit PHREEQC bzw. PHAST)
- AP3: Titrations-, Sorptions- und Transportexperimente
(Durchführung von Laborexperimente u. a. im Rahmen von Bachelor-/Masterarbeiten)
- AP4: Parametrisierung und Berechnung von Smart-K_d-Matrizen
(Ableitung thermodynamischer Sorptionsdaten und K_d-Berechnung für das erweiterte Konzept)
- AP5: Großräumige Anwendungsrechnungen
(Strömungs- und Transportrechnungen für ausgewählte Modellgebiete)
- AP6: Qualitätsmanagement/Dokumentation/Internetseite

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3: Besuch einer Mitarbeiterin von GRS Braunschweig (Titrationsversuche mit GRS Feldspat und Mica in einer Säule). Unabhängige Zeta-Potentialdaten wurden für diese Feststoffe mit den Säulentitrationen bestätigt (Ladungsnullpunkte). Die Feldspat-Daten werden für die Modellierung vorhandener Eu-Durchbruchskurven aus dem Vorgängerprojekt verwendet. Eine gemeinsame Publikation zu diesem System ist in Vorbereitung.

Durchführung von weiteren Titrationsversuchen an Feldspat mit vorequilibrierten Lösungen und Feststoffen. Zeta-Potential Messungen an GRS Feldspat mit Gleichgewichtslösungen.

Zeta-Potential Messungen an definiertem Orthoklase (Feldspat)-Anschnitten mit Gleichgewichtslösungen von GRS.

Erfolgreiche Tests mit Fluorescein (Uranin) als konservativer Tracer für on-line Detektion mit Äkta-Pure.

Tests mit neuen, zugekauften Säulen.

Eu-Migrationsversuche mit Mica und Feldspat in 100 mM NaCl bei pH 5.5.

AP3: Projekt Meeting in Dresden-Rossendorf.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Besuch einer Mitarbeiterin von GRS Braunschweig zur gemeinsamen Durchführung von Titrationsversuchen mit Feldspatsäulen und EXAFS Untersuchungen im Eu-Quartz System.

Fertigstellung des Modells für Feldspat-Ladungsverhalten und Adsorption von Europium an Feldspat. Veröffentlichung.

Zeta-Potential Messungen an weiteren Feldspat-Anschnitten mit Gleichgewichtslösungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11678
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Vervollständigung von Stoffmodellen für Salz- oder Sorelbeton sowie spezieller low-ph und hochdichter bzw. hochfester Betone zum rechnerischen Nachweis der Rissbeschränkung für Bauwerke (UVERSTOFF)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 304.370,76 EUR	Projektleiter: Dr. Müller-Hoeppe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei allen Endlagerkonzepten in den unterschiedlichen Wirtsgesteinen Salz, Tongestein und Kristallin werden im Zusammenhang mit dem jeweiligen Verschlussystem Funktionselemente aus Beton verschiedener Rezepturen eingesetzt. Wird dem Funktionselement aus Beton eine Barrierefunktion zugeordnet, ist der Integritätsnachweis, d. h. der Nachweis der Rissbeschränkung, zu führen, da andernfalls die hydraulische Durchlässigkeit des Gesamtsystems durch die Risse bestimmt wird. In einem HAW-Endlager ist dabei zu berücksichtigen, dass Betonbarrieren, die in der Nähe von Einlagerungsfeldern angeordnet sind, nach ihrer Erhärtung zu einem späteren Zeitpunkt erhöhten Temperaturen ausgesetzt sind. Daraus resultiert die spezifische Anforderung, den Integritätsnachweis für eine thermische Einwirkung nach Erhärtung zu führen. Dabei sind die viskosen Materialeigenschaften des Betons im Hinblick auf den Abbau von potenziell rissinduzierenden Zwangs- und Eigenspannungen von hoher Bedeutung. Eine thermische Aktivierung des viskosen Verhaltens wird in den Stoffmodellen für den Integritätsnachweis bisher nicht erfasst, obwohl Indexversuche einen solchen Einfluss aufzeigen. Ein geeignetes, verfügbares Stoffmodell für Beton soll so erweitert werden, dass der Einfluss der thermischen Aktivierung bei der rechnerischen Simulation erfasst wird.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenstellung vorhandener und Auswahl geeigneter Teilstoffmodelle zur Modellierung des Betonverhaltens (Salz- und Sorelbeton sowie low-ph-Beton)
- AP2: Ermittlung und Zusammenstellung versuchstechnischer Grundlagen
- AP3: Qualifizierung der Teilstoffmodelle
- AP3.1: Überprüfung/Validierung der Teilstoffmodelle
- AP3.2: Übertragung der Ergebnisse für das Betonverhalten, ggf. von Teilstoffmodellen, auf low-ph-Beton
- AP3.3: Weitergehende Qualifizierung des Stoffmodells
- AP4: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum hat am 28.08.2019 ein Projektgespräch in Peine stattgefunden, auf dem der Stand der Arbeiten vorgestellt wurde.

AP1: Zur Beschreibung des Schwindens bzw. Quellens von Beton, seines viskosen Verhaltens sowie seines Verhaltens bei thermischer Aktivierung in ausgehärteten Zustand erfolgten weitergehende Recherchen zum Stand der Stoffmodellbeschreibung. Obwohl der Effekt der thermischen Aktivierung schon früh erkannt und qualitativ beschrieben wurde, stellte sich heraus, dass die Modellbeschreibung des viskosen Verhaltens in Verbindung mit seiner thermischen Aktivierung offene Aspekte aufweist, für die die bisher erzielten Rechercheergebnisse nicht zufriedenstellend sind. Die Recherche wird deshalb weitergeführt.

Die Übertragung einzelner Teilstoffmodelle auf Salz- und Sorelbeton wurden in der Vergangenheit bereits erfolgreich vorgenommen, so dass die Eignung der übertragenen Teilstoffmodelle gegeben ist. Dies gilt für Teilstoffmodelle, die die Eigenschaften beschreiben, die sich in Kurzzeitversuchen ermitteln lassen. Die Recherche zu den Eigenschaften, für deren Ermittlung Langzeitversuche erforderlich sind, wurde weitergeführt. Festzustellen ist, dass die Frage der Existenz eines Endschwind-/Endquellmaßes bzw. Endkriechmaßes nicht geklärt ist. Für Betone mit Salzzuschlag wird deshalb die Annahme getroffen, dass kein Endkriechmaß existiert, da auch das als Zuschlag verwendete Salz kein Endkriechmaß aufweist. Hinsichtlich des Endschwind-/Endquellmaßes ist eine solche Annahme nicht möglich. Deshalb wird als Ansatz für das Schwinden/Quellen das sogenannte Braunschweiger Modell weiter genutzt, das aufgrund seines funktionalen Ansatzes zwar ebenfalls kein Endschwindmaß aufweist, es jedoch zulässt den Anteil des autogenen Schwindens mit zunehmender Zeit zu vernachlässigen.

AP2: Die Zusammenstellung versuchstechnischer Grundlagen wurde weitergeführt. Dabei erfolgte eine Konzentration auf den Sorelbeton. Es erfolgte eine Anfrage zu Rezepturzusammensetzungen, die bisher im Zusammenhang mit dem Bau von Verschlussystemen für Endlagern im Salz untersucht wurden, wobei eine Eingrenzung auf Rezepturen erfolgte, die für die Ortbetonbauweise geeignet sind. Die Auswertung der Antworten wurde vorläufig zurückgestellt, da sich die Arbeiten im AP1 und AP3 als prioritär eingeschätzt wurden.

AP3: Im Rahmen des Projektes LASA wurde das Verformungsverhalten von Sorelbeton unter triaxialer Druckbelastung und Temperaturerhöhung experimentell erfasst. Aus den Versuchsdaten wurden Einzeleffekte isoliert, die durch einzelne Teilstoffmodelle abgebildet werden. Die der Anpassung der Parameter aus den Teilstoffmodellen an die Versuchsergebnisse wurde fortgesetzt. Erste Ergebnisse liegen vor. Sie werden derzeit bewertet.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Die Recherche zu den Teilstoffmodellen zur Beschreibung des viskosen Verhaltens von Beton und zur thermischen Aktivierung im erhärteten Zustand wird fortgesetzt. Dies gilt auch für die Frage der Übertragbarkeit und Eignung von Teilstoffmodellen zur Beschreibung insbesondere des viskosen Verhaltens bei thermischer Aktivierung auf Salz- und Sorelbeton. Für das viskose Verhalten wurde ein Ansatz entsprechend den beschriebenen Annahmen implementiert, der die erwarteten Mechanismen synthetisch wiedergibt.

AP2: Die Antworten zu der Anfrage zu den Sorelbetonrezepturen wird weitergeführt.

AP3: Die Isolierung von Einzeleffekten aus den Versuchsdaten mit der Zielsetzung, die Parameter von Teilstoffmodellen anzupassen, wird fortgesetzt. Die Parameteranpassung einzelner Teilstoffmodelle, die Aspekte des Langzeitverhaltens betreffen, wurde fortgesetzt und mit der Bewertung erster erzielter Ergebnisse begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolf-Römer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11688
Vorhabensbezeichnung: Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Durchführung, Auswertung und Reanalyse von THM-Versuchen (Salzschnittblöcke III)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 506.541,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Düsterloh	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Durchführung, Auswertung und numerisch-rechnerische Reanalyse von Technikumsversuchen an Großprüfkörpern aus Salzschnittblöcken mit und ohne Fugenfüllung zur Untersuchung der Dicht- und Tragwirkung des Systems unter in situ relevanten THM-Belastungen. Bezug zu anderen Vorhaben: Für die Reanalyse von Abdichtungssystemen aus Salzschnittblöcken mit Fugenfüllung aus Salzgrus werden die im Rahmen des Forschungsvorhabens KOMPASS (02E11708D) erarbeiteten Ergebnisse zur stoffmodelltheoretischen Charakterisierung von Salzgrus integriert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Beschaffung von gewachsenem Steinsalz.
- AP2: Herstellung von Salzschnittblöcken.
- AP3: Durchführung und Auswertung von Technikumsversuchen unter variierten THM-Beanspruchungen.
- AP4: Rechnerische Reanalyse der Technikumsversuche mit Verifikation, Validation und Er-tüchtigung/Erweiterung der Berechnungssoftware.
- AP5: Erstellung Schlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Anlieferung 1. Teillieferung 52 m Großbohrkerne
- AP2: Herstellung von Salzschnittblöcken für einen zweiten Prüfkörper ohne Fugenfüllung.
Weitere Herstellung von Salzschnittblöcken für einen Prüfkörper mit Fugenfüllung.
- AP3: Testversuche mit Salzschnittblock-Prüfkörper (SSB1): Diverse TEc- und TCc-Versuche mit Optimierung Ummantelung und Versuchstechnik.
- AP4: Rechnerische Analyse der In-situ-Beanspruchungssituation für einen mit Salzschnittblöcken verfüllten Schachtabschnitt. Zielsetzungen:
 - (a) Strategieentwicklung zur rechnerischen Simulation des THM-Verhaltens eines Abdichtungselementes aus Salzschnittblöcken mit Fugenfüllung;
 - (b) Ableitung realistischer Beanspruchungsrandbedingungen für Technikumsversuche;
 - (c) Variationsberechnungen zum THM-Verhalten eines Abdichtungselementes aus Salzschnittblöcken für variierte, in situ relevante Belastungsfälle.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Herstellung von Salzschnittblöcken für einen zweiten Prüfkörper ohne Fugenfüllung.
Herstellung von Salzschnittblöcken für einen Prüfkörper mit Fugenfüllung.
- AP3: Fortführung Testversuch SSB1 mit Variation der mechanischen Randbedingungen und diskontinuierlicher Bestimmung der Gaspermeabilität.
- AP4: Rechnerische Analyse der In-situ-Situation eines mit Salzschnittblöcken verfüllten Schachtabschnittes.
Rechnerische Analysen zur Demonstration der grundsätzlichen Machbarkeit der numerischen Simulation von Abdichtungselementen aus Salzschnittblöcken ohne Fugenfüllung mit Hilfe von Interface-Elementen in FLAC3D.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11698
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente (THYMECZ)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.575.514,00 EUR	Projektleiter: Dr. Meyer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die systematische Untersuchung der thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Prozesse (THMC-Prozesse), die sich auf die Integrität eines Abdichtungselements bzw. des gesamten Abdichtsystems in einem Endlager auswirken können. Aufbauend auf den Erkenntnissen zahlreicher Pilotversuche an kombinierten Prüfkörpern aus Salzbeton und Steinsalz, die im Rahmen von LAVA-2 und LASA-EDZ gewonnen wurden, sollen, anhand systematisch aufgebauter Versuchsreihen, einzelne/gekoppelte THMC-Prozesse untersucht und die daraus resultierende Wirkung auf die Integrität der geotechnischen Barriere herausgearbeitet werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bereitstellung von Material und Methoden
- AP2: HC-Untersuchungen
- AP3: HMC-Untersuchungen
- AP4: THC-Versuche
- AP5: TM-Versuche
- AP6: THMC-Versuche
- AP7: Modelltheoretische Untersuchungen
- AP8: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: In diesem Arbeitspaket erfolgt die Zusammenstellung bzw. Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden basierend auf vorlaufenden FuE-Vorhaben. Die Bereitstellung bzw. Herstellung der Untersuchungsmaterialien erfolgte im 1. Halbjahr 2019. Im Rahmen des Arbeitskreises Betonkorrosion (AKB) wird intensiv über Materialkennwerte von Salz- und Sorelbetonen sowie deren Verhalten im Kontakt zu salinaren Lösungen diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse und Daten fließen in das Projekt THyMeCZ mit ein.
- AP2: Die Proben für die hydraulisch-chemischen Untersuchungen wurden hergestellt und an den HC-Messstand angeschlossen; kombinierte Probekörper (Abdichtmaterial/Salz) für die Materialien A1 und M2 sowie monolithische Probekörper (MP) für die Materi-

alien M2, M2-ERAM, M4 und A1. Die Proben des A1 (MP) zeigten eine Permeabilität von ca. $1 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$. Bei den anderen monolithischen Probekörpern der M-Baustoffe fand noch kein Lösungsdurchtritt statt. Im Kontakt eines kombinierten Probekörpers M2 mit IP21-Lösung wurde ein Anstieg der Permeabilität um eine Größenordnung beobachtet, im Kontakt mit NaCl-Lösung ein Permeabilitätsabfall, ebenfalls um eine Größenordnung.

- AP3: Die Versuche mit kombinierten Probekörper des Salzbetons M2 wurden im 3. Quartal abgeschlossen. Bei anliegendem Manteldruck von 50/100 bar wurde im Kontakt mit IP21-Lösung entgegen den HC-Versuchen eine Permeabilitätsabnahme beobachtet.
- AP4: Für die THC-Versuche wurde ein Messstand aufgebaut, wobei ein Aufbau entsprechend den HC-Versuchen in einem Klimaschrank realisiert worden ist. Es zeigte sich, dass die mit NaCl-Lösung durchströmten Probekörper des A1 innerhalb von 100 Tagen so geschädigt waren, dass ein Lösungsdurchbruch erfolgte und die Permeabilität sprunghaft um mehrere Größenordnungen anstieg.
- AP5: Im TM-Messstand wurden die Versuche mit Salzbeton M2 vollständig abgeschlossen. Es erfolgte zunächst eine stufenweise Erhöhung der Spannungen (nahezu isotroper Spannungszustand) auf 5 MPa, 10 MPa und 15 MPa bei 30 °C. Anschließend wurde der Spannungszustand erhalten und die Temperatur auf 60 °C und 90 °C erhöht und final wieder auf 60 °C gesenkt. Dabei konnte ein deutliches spannungs- und temperaturabhängiges Verformungsverhalten des M2 festgestellt werden. Der gleiche Versuchsablauf erfolgte auch am Material A1 bislang an einer Probe. Auch hier zeigte sich ein deutliches thermisch-mechanisches Verformungsverhalten. Die Kriechverformung ist dabei signifikant höher als beim M2.
- AP6: Der Aufbau des THMC-Messstandes wird zurzeit konzipiert.
- AP7: Das derzeitige Modell, das die Korrosion von Abdichtelementen numerisch abbildet, könnte weniger konservativ sein als bisher angenommen und soll daher überarbeitet werden. Das Modellverständnis der Korrosionsprozesse soll dabei mit Hilfe der durchgeführten Experimente vertieft werden.
- AP8: Erstellung der Dokumente zur Qualitätssicherung der Arbeiten im Projekt. Hierzu gehören die Standarddokumente Laborauftrag, Versuchsanweisungen und Versuchsplan. Des Weiteren erfolgte die Erstellung des HJB und JB.

4. Geplante Weiterarbeiten

Alle Versuche werden entsprechend des aufgestellten Versuchsplans fortgeführt. Der THC-Messstand wird im 1. Quartal 2020 endgültig umgerüstet sein. Die Versuche mit kombinierten Probekörper des A1 wurden im HMC-Messstand begonnen und in 2020 fortgeführt. Es werden noch einmal Probekörper des Sorelbetons A1 unter im Vorfeld definierten und abgestimmten Randbedingungen hergestellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11708A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 206.313,00 EUR	Projektleiter: Dr. Czaikowski	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Methoden- und Strategieentwicklung, um die Defizite bei der Prognose der Kompaktion von Salzgrusversatz zu verringern und damit die Voraussetzungen für die Stärkung des Sicherheitsnachweises für ein Endlager im Steinsalz zu schaffen. Dies beinhaltet die Schaffung experimenteller Grundlagen für die Bestimmung von Salzgruseigenschaften im Bereich kleiner Porositäten, die Entwicklung des Prozessverständnisses und die Entwicklung modelltechnischer Strategien zur Ermöglichung einer belastbaren Prognose der Salzgruskompaktion im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen der Untersuchungen zu (AP1.1) ist beabsichtigt, eine Salzgruskompaktion zu realisieren, wie sie der Beanspruchungssituation in situ entspricht, ohne hierfür allerdings die lange In-situ-Kompaktionsphase abbilden zu müssen (Herstellung vorkompakter Salzgrusprüfkörper im Zeitraffer). Im Ergebnis der Untersuchungen soll das in vergleichsweise kurzer Zeit generierte Prüfkörpermaterial die gleichen THM-Eigenschaften ausweisen, wie ein in situ durch den Konvergenzprozess kompakter Salzgrus. Der vorkompaktierte Salzgrus soll als Ausgangsmaterial für die Langzeitversuche zu (AP1.2) verwendet werden, so dass auf die sonst erforderliche und mehrere Monate bis Jahre andauernde Vorversuchsphase für Untersuchungen zum THM-Verhalten von Salzgrus für kleine Porositäten verzichtet werden kann. Als Referenzmaterial soll neben bekannten Materialvarietäten erstmals in (AP1.3) auch Salzgrus aus flacher Lagerung untersucht werden.

AP2: Gefügeuntersuchungen zum Prozessverständnis

Die Identifikation der während der Salzkompaktion ablaufenden Verformungsmechanismen und deren Quantifizierung sind wesentlich für das Prozessverständnis. Ausgehend von der Zielstellung, dass mit der Vorkonsolidierung im „Zeitraffer“ schon eine Probenporosität in der Größenordnung von ca. 10 % erreicht wird, ist zu dokumentieren, dass sich während der Vorkonsolidierung bei Wiederholung ein reproduzierbares Korngefüge einstellt, und dass u. a. keine unnatürlichen Gefügeveränderungen, z. B. durch Spannungskonzentrationen an Kontaktstellen, auftreten. Hierfür werden in (AP2.1) die Deformations- bzw. Porenraumgefüge der experimentell vorkompaktier-

ten Proben untersucht und miteinander sowie mit technischen Analoga in (AP2.2) verglichen. Zur Beschreibung und für eine Quantifizierung des Einflusses von Feuchtigkeit auf das Kompaktionsverhalten sollen in (AP2.3) die oben genannten Untersuchungsverfahren getestet und bzgl. ihres Potentials bewertet werden.

AP3: Modelltechnische Strategie

Dieses Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Entwicklung modelltechnischer Strategien für die Beschreibung des hydromechanischen Salzgrusverhaltens im Bereich kleiner Porosität im Hinblick auf die Nachweisführung für den sicheren Einschluss. In (AP3.1) sollen die Anforderungen an die Prozessmodelle untersucht werden, die sich aus den Bedürfnissen der Nachweisführung für die Langzeitsicherheit ergeben. In (AP3.2) sollen die bestehenden Modellansätze genauer untersucht werden. Wichtig in dem Zusammenhang ist beispielsweise, welche Prozesse nachgebildet werden (können), welchen Einfluss die verschiedenen Parameter haben und in welchen Grenzen die Anwendung überhaupt zulässig ist. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden an Hand einfacher Simulationsbeispiele ermittelt und dokumentiert. Die Simulation der Salzgruskompaktion mit Prozessmodellen muss belastbare Ergebnisse liefern, aus denen in (AP3.3) die vereinfachten Beziehungen der Langzeitsicherheitsanalyse abgeleitet werden bzw. mit denen diese geprüft werden können.

AP4: Dokumentation und Synthese

In AP4 werden die Ergebnisse der übrigen Arbeitspakete dokumentiert und zusammengefasst sowie die Richtung für die systematische Lösung der verbleibenden Fragen festgelegt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum hat ein Projektgespräch am 05. September 2019 bei dem Partner IfG in Leipzig stattgefunden. Das Projekttreffen fand in Kombination mit einem gemeinsamen Workshop mit den Kollegen des Projekts WEIMOS statt, in welchem die Projekte vorgestellt und Ergebnisse ausgetauscht wurden. Innerhalb des Projekttreffens wurden die aktuellen Stände der Laborversuche vorgestellt und Vorschläge für weitere Experimente diskutiert. Es wurden zudem erste Ergebnisse von Mikrostrukturuntersuchungen gezeigt und weitere Untersuchungen angestoßen. Bezüglich der Modellierungsarbeiten wurden neue Ergebnisse zu dem Triaxialversuch TK-031 gezeigt und diskutiert. Die GRS beteiligt sich an den Modellierarbeiten aufgrund langjähriger Erfahrungen mit dem Simulator CODE_BRIGHT.

Im Berichtszeitraum führte die GRS zusätzlich zu den Modellierungsarbeiten für TK-031, vorhersagende Simulationen von aktuell laufenden Versuchen des Projektpartners TU Clausthal durch. Auch hier zeigte sich wieder, dass vorhandene Parametersätze für Salzgrus nicht geeignet sind, um die Experimente umfassend zu modellieren. Von Seiten der GRS wurden außerdem weitere Diskussionen über die Modellierung von Salzgruskompaktion mit den Entwicklern von CODE_BRIGHT geführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Bearbeitung der einzelnen APs entsprechend der Vorhabenbeschreibung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 11708B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt B	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 198.873,00 EUR	Projektleiter: Dr. Müller-Hoeppe

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Methoden- und Strategieentwicklung, um die Defizite bei der Prognose der Kompaktion von Salzgrusversatz zu verringern und damit die Voraussetzungen für die Stärkung des Sicherheitsnachweises für ein Endlager im Steinsalz zu schaffen. Dies beinhaltet die Schaffung experimenteller Grundlagen für die Bestimmung von Salzgruseigenschaften im Bereich kleiner Porositäten, die Entwicklung des Prozessverständnisses und die Entwicklung modelltechnischer Strategien zur Ermöglichung einer belastbaren Prognose der Salzgruskompaktion im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen der Untersuchungen zu (AP1.1) ist beabsichtigt, eine Salzgruskompaktion zu realisieren, wie sie der Beanspruchungssituation in situ entspricht, ohne hierfür allerdings die lange In-situ-Kompaktionsphase abbilden zu müssen (Herstellung vorkompakter Salzgrusprüfkörper im Zeitraffer). Im Ergebnis der Untersuchungen soll das in vergleichsweise kurzer Zeit generierte Prüfkörpermaterial die gleichen THM-Eigenschaften ausweisen, wie ein in situ durch den Konvergenzprozess kompakter Salzgrus. Der vorkompaktierte Salzgrus soll als Ausgangsmaterial für die Langzeitversuche zu (AP1.2) verwendet werden, so dass auf die sonst erforderliche und mehrere Monate bis Jahre andauernde Vorversuchsphase für Untersuchungen zum THM-Verhalten von Salzgrus für kleine Porositäten verzichtet werden kann. Als Referenzmaterial soll neben bekannten Materialvarietäten erstmals in (AP1.3) auch Salzgrus aus flacher Lagerung untersucht werden.

AP2: Gefügeuntersuchungen zum Prozessverständnis

Die Identifikation der während der Salzkompaktion ablaufenden Verformungsmechanismen und deren Quantifizierung sind wesentlich für das Prozessverständnis. Ausgehend von der Zielstellung, dass mit der Vorkonsolidierung im „Zeitraffer“ schon eine Probenporosität in der Größenordnung von ca. 10 % erreicht wird, ist zu dokumentieren, dass sich während der Vorkonsolidierung bei Wiederholung ein reproduzierbares Korngefüge einstellt, und dass u. a. keine unnatürlichen Gefügeveränderungen, z. B. durch Spannungskonzentrationen an Kontaktstellen, auftreten. Hierfür werden in (AP2.1) die Deformations- bzw. Porenraumgefüge der experimentell vorkompaktierten Proben untersucht und miteinander sowie mit technischen Analoga in (AP2.2) verglichen. Zur Beschreibung und für eine Quantifizierung des

Einflusses von Feuchtigkeit auf das Kompaktionsverhalten sollen in (AP2.3) die oben genannten Untersuchungsverfahren getestet und bzgl. ihres Potentials bewertet werden

AP3: Modelltechnische Strategie

Dieses Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Entwicklung modelltechnischer Strategien für die Beschreibung des hydromechanischen Salzgrusverhaltens im Bereich kleiner Porosität im Hinblick auf die Nachweisführung für den sicheren Einschluss. In (AP3.1) sollen die Anforderungen an die Prozessmodelle untersucht werden, die sich aus den Bedürfnissen der Nachweisführung für die Langzeitsicherheit ergeben. In (AP3.2) sollen die bestehenden Modellansätze genauer untersucht werden. Wichtig in dem Zusammenhang ist beispielsweise, welche Prozesse nachgebildet werden (können), welchen Einfluss die verschiedenen Parameter haben und in welchen Grenzen die Anwendung überhaupt zulässig ist. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden an Hand einfacher Simulationsbeispiele ermittelt und dokumentiert. Die Simulation der Salzgruskompaktion mit Prozessmodellen muss belastbare Ergebnisse liefern, aus denen in (AP3.3) die vereinfachten Beziehungen der Langzeitsicherheitsanalyse abgeleitet werden bzw. mit denen diese geprüft werden können.

AP4: Dokumentation und Synthese

In AP4 werden die Ergebnisse der übrigen Arbeitspakete dokumentiert und zusammengefasst sowie die Richtung für die systematische Lösung der verbleibenden Fragen festgelegt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum hat am 05.09.2019 bei IfG in Leipzig ein Projektgespräch KOMPASS/WEIMOS stattgefunden. Für die verschiedenen Arbeitspakete wurde der jeweilige Stand der Bearbeitung dargestellt. Es lässt sich feststellen, dass zwei maßgebliche Funktionen von Salzgrusversatz – Stützwirkung und Barrierewirkung - nunmehr bearbeitet werden. Entsprechend ihrer Beteiligung in den Arbeitspaketen werden die damit verbundenen Fragestellungen von den Projektpartnern unterschiedlich angegangen. In Bezug auf den mechanischen Ansatz bestätigte sich, dass die Vernachlässigung/Berücksichtigung der Vorkompaktion schon bei Anwendung des gleichen Modells für den TK031 zu unterschiedlichen Ergebnissen führte. Dies gilt dann erst recht bei Verwendung unterschiedlicher Modellierungsansätze. Die Modellierungen zum TK031 wurden weitergeführt. Es deutet sich an, dass die bisher verwendete Porositäts-Permeabilitätsbeziehung zur Beschreibung der Barrierewirkung im Bereich der interessierenden kleinen Porositäten nicht ausreicht. Es scheint sich zu bestätigen, dass bei kleinen Porositäten nicht mehr die Porosität, sondern der Vernetzungsgrad maßgebend ist. Dies wird durch die bisherigen Modelle nicht abgebildet, so dass sich das Erfordernis einer Modellerweiterung ergibt. Allerdings relativiert sich dadurch unterhalb einer noch zu bestimmenden Grenze die Notwendigkeit einer sehr genauen Porositätsbestimmung für Salzgrus. Die Nachrechnung des Laborversuchs TK031 der BGR wurde weitergeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weitere Bearbeitung des AP3 entsprechend der Vorhabenbeschreibung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 11708C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 272.341,60 EUR	Projektleiter: Dr. Popp	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Methoden- und Strategieentwicklung, um die Defizite bei der Prognose der Kompaktion von Salzgrusversatz zu verringern und damit die Voraussetzungen für die Stärkung des Sicherheitsnachweises für ein Endlager im Steinsalz zu schaffen. Dies beinhaltet folgende Teilziele: die Schaffung experimenteller Grundlagen für die Bestimmung von Salzgruseigenschaften im Bereich kleiner Porositäten, die Entwicklung des Prozessverständnisses und die Entwicklung modelltechnischer Strategien zur Ermöglichung einer belastbaren Prognose der Salzgruskompaktion im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in insgesamt drei große Arbeitspakete:

- AP1: Entwicklung und Test experimenteller Methoden zur Untersuchung der Salzgruskompaktion, dabei Einbeziehung von Salzgrus aus flacher Lagerung
- AP2: Verbesserung des Prozessverständnisses, insbesondere durch Gefügeuntersuchungen
- AP3: Analyse der vorhandenen Modellansätze, vergleichende Modellrechnungen und Definition einer Strategie zur Verbesserung

Abschließend erfolgt eine Zusammenstellung des neuen Kenntnisstandes und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Grundlage der experimentellen Arbeiten bildet die von der TU BAF im ELSA-Vorhaben entwickelte Salzgrus-Rezeptur MOBSM (ohne Überkorn), die aus drei Kornfraktionen (14,2 M % Feinsalz: 0,03 – 0,3 mm, 20,2 M % Band 8: 0,1 – 1 mm und 65,6 M % Band 6. 0,4 – 4 mm) zusammengemischt wird. Das Material der Grube Sondershausen repräsentiert Stassfurt-Steinsalz der flachen Lagerung mit einem Feuchtigkeitsgehalt von ca. 0,15 M %.

Das von IfG vorgeschlagene experimentelle Konzept zur Reduzierung der Versuchszeit der Salzkompanktion basiert auf zwei Untersuchungsschritten. Erster Schritt ist die gezielte Vorkonsolidierung einer möglichst großen Salzgrusmenge zu einer definierten Startporosität.

Hierfür wird die „große“ IfG-Versatzdruckzelle (160 l Volumen) eingesetzt, in der Salzgrus (trocken bzw. feucht) unter einer nominellen Auflast bis ca. 4.500 kN definiert konsolidiert wird. In den Vorversuchen (Versuchszeit ca. 4 Wochen) betrug die Porosität ca. 12 – 15 %. Aus der Großprobe wurden Probenzylinder in zwei Größen ($\varnothing/l = \text{ca. } 6/12 \text{ cm und } 10/20 \text{ cm}$) hergestellt. Zurzeit laufen fünf isostatische Kriechversuche (drei trocken mit $p = 1, 5$ und 10 MPa sowie zwei feucht ($1 \text{ M } \% \text{ H}_2\text{O}$) mit $p = 1$ und 5 MPa). Die Kriechphasen dauern jeweils 1 Monat, mit stufenweiser Belastung bis $p_{\text{max}} = 20 \text{ MPa}$, je nach erreichtem Kompaktionsgrad.

Vom neuen IfG-Salzgruskompaktionszellentyp sind zwei Zellen im Rohbau fertiggestellt.

AP3: Der allgemeine Stand der numerischen Modellierung des mechanischen Verhaltens von Salzgrus wurde zunächst anhand des Referenzversuchs TK031 von allen Partnern evaluiert. In diesem mehrstufigen Kompaktionskriechversuch von der BGR wurde Asse-Salzgrus triaxial in knapp 300 Tagen von einer Porosität von gut 15 % bis auf etwa 7 % kompaktiert. Die Simulationen wurden mit dem derzeit verwendeten Stoffmodell des IfG, einer Abwandlung des verbreiteten cwipp-Modells, durchgeführt. Dazu wurde ein Verfahren zur Parameterableitung entwickelt, das eine zufriedenstellende Reproduktion des Laborergebnisses ergab.

Eine genauere Analyse zeigt jedoch die mangelnde Prognosefähigkeit des zugrundeliegenden Modells: Cwipp und alle derzeit verwendeten Varianten sagen für einen mehrstufigen Kriechversuch Linien konstanter Steigung im doppellogarithmischen Plot von Porositätsänderungsrate gegen Porosität vorher, während bei TK031 deutlich zu erkennen ist, dass die Kurven mit abnehmender Porosität flacher werden. Dementsprechend liefert die Extrapolation zu geringeren Porositäten eine zunehmend schlechtere Beschreibung.

Der Referenzversuch dokumentiert, dass schon wenige Versuche von guter Qualität ausreichen, um die bereits bekannten Schwächen der Stoffmodelle zu belegen. Zur Entwicklung und Validierung verbesserter Stoffmodelle sind daher systematische Versuchsreihen erforderlich, um die Modelle unter verschiedenen Randbedingungen zu überprüfen.

4. Geplante Weiterarbeiten

In AP1 wird nach Fertigstellung der neuen isostatischen Triaxialzellen die Eignung der Zelle mit den vorkompaktierten Prüfkörpern der großen IfG-Versatzdruckzelle in Vorversuchen geprüft. Parallel findet die Entwicklung einer hydraulischen Belastungseinrichtung mit einer zuverlässigen Volumenmessung statt.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, insbesondere der TUC, werden die vorliegenden Ansätze für verbesserte Stoffmodelle weiterentwickelt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11708D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 219.111,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Düsterloh	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Methoden- und Strategieentwicklung, um die Defizite bei der Prognose der Kompaktion von Salzgrusversatz zu verringern und damit die Voraussetzungen für die Stärkung des Sicherheitsnachweises für ein Endlager im Steinsalz zu schaffen. Teilziele: Schaffung experimenteller Grundlagen für die Bestimmung von Salzgruseigenschaften im Bereich kleiner Porositäten, Entwicklung des Prozessverständnisses und die Entwicklung modelltechnischer Strategien zur Ermöglichung einer belastbaren Prognose der Salzgruskompaktion im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung und Test experimenteller Methoden zur Untersuchung der Salzgruskompaktion, dabei Einbeziehung von Salzgrus aus flacher Lagerung.
- AP2: Verbesserung des Prozessverständnisses, insbesondere durch Gefügeuntersuchungen.
- AP3: Analyse der vorhandenen Modellansätze, vergleichende Modellrechnungen und Definition einer Strategie zur Verbesserung.
- AP4: Erstellung Schlussbericht mit Zusammenstellung des neuen Kenntnisstandes und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf den sicheren Einschluss.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Durchführung und Auswertung einer Serie von Vorkompaktionsversuchen mit Referenzmaterial durch Trocknung des Salzgruses und nachfolgender Einstellung eines definierten Wassergehalts von 0,5 % durch Zugabe gesättigter Sole. Variation des Beanspruchungsniveaus und der Dauer der Beanspruchung im Bereich von 15MPa-5MPa. Zielsetzung der Versuche ist die Ableitung einer Korrelation zwischen Versuchsrandbedingungen (Rekompaktionsspannung, Rekompaktionszeit, Wassergehalt) und der resultierenden Porosität des kompaktierten Salzgrusprüfkörpers.
- Durchführung eines verzerrungsgeregelten Triaxialversuchs (TUC-V3) an einem vorkompaktierten Salzgrusprüfkörper mit innovativer, isotroper Beanspruchungsregelung zur Eliminierung von Kriecheffekten (→ verbesserte Interpretierbarkeit der Messwerte durch Vermeidung von Kriechdeformationen)
- AP3: I) Stoffmodelle zur Abbildung der Salzgruskompaktion:
Analyse der vorhandenen Modellstrukturen mit Vor- und Nachteilen zur Feststellung bzw. Erarbeitung einer optimalen Modellstruktur mit dem langfristig geplanten Ziel einer

grundsätzlichen Umstrukturierung bzw. Neuentwicklung des aktuell verwendeten Stoffmodells C-WIPP.

Modifikation der 3D-Verteilung der Deformationen im aktuell von TUC verwendeten Stoffmodell C-WIPP zur Eliminierung eines bekannten Defizits im Stoffmodell C-WIPP. Validierung der Modifikation durch die Kalkulation der Verzerrungsverteilung für variierte Belastungsfälle (TC, TE, iso).

Planung und Vorlage eines Entwurfs/Vorschlags für ein strategisches, umfangreiches Laborprogramm entsprechend den neuen Anforderungen an die physikalische Modellierung der Salzgruskompaktion und -permeabilität im Endlagerkonzept. Ziel des Laborprogramms ist es, die experimentelle Datenbasis für eine möglichst umfassende und systematische Validierung der Stoffmodelle zum Kompaktionsverhalten des Salzgruses zu generieren.

Bei der Planung des Programms wurden nachstehende Zielsetzungen berücksichtigt:

- Systematik beim Aufbau (Versuchsprogramm als System mit Strukturierung und Priorisierung);
- Wechselseitige, aufeinander abgestimmte Festlegung der Versuchsrandbedingungen einzelner Versuche zur Aufwandsoptimierung und zur Vergleichbarkeit der einzelnen Versuchsergebnisse;
- Untersuchung der Wirkung möglichst aller in situ relevanter sowie bisher nachrangig untersuchter Einflussfaktoren bzw. Wertebereiche (z. B. Bereich niedriger Porosität);
- gute Isolierung einzelner Prozesse und Einflussfaktoren in jedem einzelnen Versuch zur Gewährleistung der Eindeutigkeit der Interpretation.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Durchführung und Auswertung zwei weiterer Versuchsserien zur Vorkompaktion mit Referenzmaterial mit einem definierten Wassergehalt von 0,1 % (Versuchsserie 2) und von 1 % (Versuchsserie 3). Angestrebter Zielwert für die Endporosität des Prüfkörpers ist analog zur Versuchsserie 1 ca. 10 %-20 %.

Durchführung eines mehrstufigen Kompaktionsversuchs mit deviatorischer und isotroper Beanspruchung, TUC-V2': spannungsgeregelt mit 5 isotropen Laststufen und 5 deviatorischen Zwischenstufen. Ziel des Versuchs ist die Generierung einer Datenbasis zum bisher wenig untersuchten, jedoch in der Mehrzahl der aktuell verwendeten Stoffmodelle berücksichtigten Einflusses der deviatorischen Spannung auf das Kompaktionsverhalten.

AP3: Ermittlung der Materialparameter für C-WIPP für den feuchten Salzgrus anhand aktuell verfügbarer und eindeutig interpretierbarer experimenteller Versuchsdaten bezüglich des Feuchteinflusses (drei GRS-Versuche aus REPOPERM II).

Anwendung der vorstehend ermittelten Materialparameter zur prognostischen bzw. historischen Analyse der Kompaktionsversuche TUC-V2 und TUC-V3, für die jeweils ein Prüfkörper mit 0,5 % Wassergehalt verwendet wurde. Ziel dieser (Re)-Analyse ist die Validierung des aktuell verwendeten Stoffmodells und Charakterisierung der noch vorhandenen Defizite bzgl. der physikalischen Modellierung des Kompaktionsverhaltens von Salzgrus.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11718A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 378.246,00 EUR	Projektleiter: Herold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der Planung eines Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente (kurz: HAW-Endlager) in Tongesteinsformationen ist der technische Ausbau von Grubenbauen von wesentlicher Bedeutung für den sicheren Betrieb des Endlagers. Aus gebirgsmechanischer Sicht ist die Errichtung und der sichere Betrieb eines HAW-Endlagers im Tongestein ohne einen geeigneten Ausbau nicht möglich. Die Tongesteinseigenschaften (z. B.: geringe bis mäßige Festigkeit, Kriechverhalten, Eigenschaftsänderungen in Abhängigkeit des Wassergehaltes) in Verbindung mit der jeweiligen Teufenlage führen zu hohen Anforderungen an die Tragfähigkeit des verwendeten Ausbausystems.

Die Projektpartner DMT GmbH & Co. KG und BGE TECHNOLOGY GmbH setzen sich zum Ziel, im Vorhaben AGEnT die Anforderungen zur Auslegung von stützenden Ausbauten im Grubengebäude eines Endlagers in Tongestein zusammenzustellen, grundlegende technische Lösungen zu entwickeln und mögliche Wechselwirkungen der dafür in Betracht kommenden Baustoffe mit den anderen Komponenten des Endlagersystems, wie dem Wirtsgestein inkl. Porenwasser, zu untersuchen. Aus dem Spannungsfeld zwischen der Gewährleistung der betrieblichen Sicherheit während der Einlagerung sowie möglicher Rückholung und dem Nachweis der Langzeitsicherheit sollen die Anforderungen zur Auslegung von Ausbauten im Grubengebäude eines HAW-Endlagers in Tongestein (z. B.: wie im FuE-Vorhaben ERATO oder ANSICHT beschrieben) zusammengestellt und grundlegende technische Lösungen für einen geeigneten Ausbau entwickelt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche zu Ausbaukonzepten und -materialien
- AP2: Herleitung und Zusammenstellung der Randbedingungen und Anforderungen
- AP3: Ermittlung erforderlicher mechanischer Ausbaueigenschaften zur Gebirgsbeherrschung
- AP4: Erarbeitung von grundlegenden technischen Lösungen für den Ausbau
- AP5: Identifikation von Wechselwirkungen zwischen den ausgewählten Ausbaumaterialien mit dem Gebirge
- AP6: Abschätzungen zum Langzeitverhalten (Alteration) von Beton anhand chemischer Berechnungen unter Annahme einer Referenzlösung für das Wirtsgestein und Abschätzung der mechanischen Funktionsdauer
- AP7: Bestimmung der Anwendungsgrenzen eines neuen Ausbausystems
- AP8: Ableitung von notwendigen Entwicklungsarbeiten
- AP9: Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP4: Aus Modellrechnungen und den Untersuchungen der APs 1 und 2 wurden von DMT und BGE TEC der Einsatz eines geschlossenen, betonbasierten Ausbausystems als Vorzugsvariante für alle langlebigen Grubenbaue identifiziert. Für kurzlebige Strecken, wie beispielsweise Einlagerungsstrecken für die horizontale Streckenlagerung, wird ein an der Sohle offener Ausbau bevorzugt. Die von DMT entwickelte Rezeptur eines low-pH Betons ist sowohl für die Produktion von Fertigteilen (Tübingen) als auch für einen Einsatz als Nass- Spritzbeton geeignet. Damit kann für beide Ausbaukonzepte grundsätzlich der gleiche Baustoff genutzt werden.
- AP5: Die Formsteine des Angedachten Tübbingausbaus (Geschlossener Ausbau für langlebige Grubenbaue) können auch mit einer Faserarmierung versehen werden. Als Vorzugsvariante wurden dazu Stahlfasern gewählt, obwohl grundsätzlich das Bestreben besteht, den Stahlanteil und damit die aus der Korrosion entstehende Gasentwicklung zu minimieren. Eine Korrosion findet statt, wenn die gebirgsseitig zutretenden Lösungen den Stahl erreichen. Die Korrosionsraten selbst sind u. a. von der Zutrittsrate und der Mineralisation der Wässer abhängig. Low-pH Beton ist grundsätzlich durch eine geringere Permeabilität, kleinere Porosität und kleinere Poren gekennzeichnet, was ein Eindringen der Lösung erschwert. Durch die Einbettung der Fasern im Beton findet weiterhin eine Passivierung statt. Durch eine Carbonatisierung des Betons (z. B. streckenseitig über die Wetter) kann die Passivierung gestört werden. Untersuchungen am Streckenausbau der Schachanlage Konrad sowie Modellrechnungen in anderen internationalen Endlagerprojekten (z. B.: ANDRA) legen nahe, dass dieser Prozess innerhalb der Betriebszeit zu keiner signifikanten Beeinträchtigung des Ausbaus führt. In der Nachverschlussphase findet eine Aufsättigung statt, und damit treten diese Effekte in den Hintergrund.
Zur Beurteilung zu erwartender Wechselwirkungen zwischen (Beton-)Ausbau und Bentonit wurden u. a. aktuelle FuE-Ergebnisse des CEBAMA-Vorhabens ausgewertet.
- AP6: Im Rahmen des AP6 soll eine Abschätzung des Langzeitverhaltens der entwickelten Betonbaustoffe unter Endlagerbedingungen. Ausbauend auf den in AP2 zusammengestellten geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen sowie der im AP5 identifizierten Prozesse wurde eine Leistungsbeschreibung für die Alterationsberechnungen erstellt. Die Berechnungen sollen im folgenden Berichtszeitraum durch einen Unterauftragnehmer durchgeführt werden. Weitere Randbedingungen für diese Berechnungen sind Kenntnisse über die mechanischen Eigenschaften und Beschaffenheit der ALZ nach der Betriebszeit. Zur Ermittlung dieser Eigenschaften wurden numerische Berechnungen zur Bewertung der HM- Prozesse am Ausbau vorbereitet. Der Abschluss der Arbeiten wird im folgenden Berichtszeitraum erwartet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Das entwickelte System eines starren Tübbingausbaus soll durch eine kompressible Hinterfüllung ergänzt werden. Zusammen mit DMT werden dazu geeignete technische Lösungen gesucht und bewertet.
- AP6: Die Abschätzung des Langzeitverhaltens des Entwickelten Ausbausystems bzw. der enthaltenen Baustoffe wird weitergeführt.
- AP7: Die im französischen Endlager vorgesehenen Ausbaukonzepte weisen viele Parallelen zu den Entwicklungen im Vorhaben AGEnT auf. Zur Diskussion und kritischen Prüfung der Projektergebnisse werden ein Austausch mit der ANDRA und eine Diskussion vorbereitet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: DMT GmbH & Co. KG, Am TÜV 1, 45307 Essen		Förderkennzeichen: 02 E 11718B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 272.458,00 EUR	Projektleiter: Dr. te Kook	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der Planung eines Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente (kurz: HAW-Endlager) in Tongesteinsformationen ist der technische Ausbau von Grubenbauen von wesentlicher Bedeutung für den sicheren Betrieb des Endlagers. Aus gebirgsmechanischer Sicht ist die Errichtung und der sichere Betrieb eines HAW-Endlagers im Tongestein ohne einen geeigneten Ausbau nicht möglich. Die Tongesteinseigenschaften (z. B.: geringe bis mäßige Festigkeit, Kriechverhalten, Eigenschaftsänderungen in Abhängigkeit des Wassergehaltes) in Verbindung mit der jeweiligen Teufenlage führen zu hohen Anforderungen an die Tragfähigkeit des verwendeten Ausbausystems.

Die Projektpartner DMT GmbH & Co. KG und BGE TECHNOLOGY GmbH setzen sich zum Ziel, im Vorhaben AGEnT die Anforderungen zur Auslegung von stützenden Ausbauten im Grubengebäude eines Endlagers in Tongestein zusammenzustellen, grundlegende technische Lösungen zu entwickeln und mögliche Wechselwirkungen der dafür in Betracht kommenden Baustoffe mit den anderen Komponenten des Endlagersystems, wie dem Wirtsgestein inkl. Porenwasser, zu untersuchen. Aus dem Spannungsfeld zwischen der Gewährleistung der betrieblichen Sicherheit während der Einlagerung sowie möglicher Rückholung und dem Nachweis der Langzeitsicherheit sollen die Anforderungen zur Auslegung von Ausbauten im Grubengebäude eines HAW-Endlagers in Tongestein (z. B.: wie im FuE-Vorhaben ERATO oder ANSICHT beschrieben) zusammengestellt und grundlegende technische Lösungen für einen geeigneten Ausbau entwickelt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche zu Ausbaukonzepten und -materialien
- AP2: Herleitung und Zusammenstellung der Randbedingungen und Anforderungen
- AP3: Ermittlung erforderlicher mechanischer Ausbaueigenschaften zur Gebirgsbeherrschung
- AP4: Erarbeitung von grundlegenden technischen Lösungen für den Ausbau
- AP5: Identifikation von Wechselwirkungen zwischen den ausgewählten Ausbaumaterialien mit dem Gebirge
- AP6: Abschätzungen zum Langzeitverhalten (Alteration) von Beton anhand chemischer Berechnungen unter Annahme einer Referenzlösung für das Wirtsgestein und Abschätzung der mechanischen Funktionsdauer
- AP7: Bestimmung der Anwendungsgrenzen eines neuen Ausbausystems
- AP8: Ableitung von notwendigen Entwicklungsarbeiten
- AP9: Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Schwerpunkt der Arbeiten waren die Arbeitspakete AP3 und AP4 die im Berichtshalbjahr abgeschlossen werden konnten. Zusätzlich wurde mit den Arbeiten zu AP7 begonnen.

Die geotechnischen Modellrechnungen zum Streckenverhalten wurde unter Verwendung der Software FLAC2 D weitergeführt. Unter besonderer Berücksichtigung der geotechnischen Eigenschaften an den Standorten Deutschland Nord und Deutschland Süd wurden Variationsrechnungen für verschiedene Ausbausysteme in den Teufenlagen 500 m, 750 m und 1000 m durchgeführt.

In den „kurzlebigen“ Einlagerungstrecken (Standzeit < 1 Jahr) sind bis 1000 m Teufe Bogenstrecken mit Betonausbau einsetzbar sofern eine Stoßwanderung von 10 % akzeptabel ist und einmalige Senkarbeiten durchgeführt werden.

Weitere Berechnungen wurden für ein 3-fach Streckensystem durchgeführt. Die Pfeilerbreite zwischen zwei Einlagerungstrecken beträgt das doppelte der Streckenbreite. Sofern die einaxiale Druckfestigkeit des Tongesteins mindestens 28 MPa beträgt ist diese Pfeilerbreite in 1000 m Teufe ausreichend um stabile Verhältnisse zu gewährleisten. Beträgt die Festigkeit 20 MPa so reduziert sich die Teufe auf 750 m. Bei einer Festigkeit von 15 MPa reduziert sich die Teufe für stabile Verhältnisse auf 500 m.

Die Herstellung und Untersuchung von low-pH Betonen war ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im Berichtshalbjahr. Zunächst wurden bekannte Rezepturen nachgebildet und anschließend die Bestandteile durch heimische Rohstoffe ersetzt. Durch die Reduktion des Zementgehaltes bei Erhöhung des Anteils von Puzzolanen, wie Steinkohlenflugasche und Silikastaub, kann der pH-Wert weiter reduziert werden. Die Langzeitbeständigkeit (Vermeidung von Schwinden und Mikrorissbildung) von Betonen mit Mikrosilika und Flugasche ist erfahrungsgemäß höher als bei Betonen, die nur Steinkohlenflugasche als Zusatzstoff enthalten. Die Reduktion des Zementanteils führt zu einer Abnahme der einaxialen Druckfestigkeit. Die low-pH Betone mit reduziertem Zementgehalt (120 kg/m^3) erreichen nach 91 Tagen Druckfestigkeiten von rund 27 MPa gegenüber den low-pH Betonen mit höherem Zementgehalt (180 kg/m^3), die nach 91 d Festigkeiten bis über 70 MPa erreichen. Trotz des hohen Gehalts an Mikrosilika von 120 kg/m^3 wurden nur ein sehr geringes Schwindmaß von 0,5 % gemessen. Tendenziell ist das Schwindmaß bei trocken gelagerten Probekörpern größer als bei feucht gelagerten Proben.

4. Geplante Weiterarbeiten

Aufbauend auf den bisher durchgeführten geotechnisch numerischen Modellberechnungen für ein 3-fach Streckensystem sollen in weiteren geotechnischen Modellen das Verformungsverhalten von bis zu 9 parallelen und gleichzeitig geöffneten Einlagerungstrecken untersucht werden.

In weiteren geotechnischen numerischen Modellen soll das Langzeitverhalten von Endlagerstrecken unter Berücksichtigung möglicher Quelldrücke und Kriecheigenschaften betrachtet werden. Zur realitätsnahen Nachbildung des Betonausbaus in geotechnisch numerischen Modelle werden hierzu im Labor in Triaxialversuchen weitere Betonparameter wie Kohäsion, Reibungswinkel und Restfestigkeit ermittelt.

Im Labor werden Untersuchungen zum erreichten pH-Wert der Proben vorgenommen. Dies erfolgt in erster Linie qualitativ über die Bestimmung der pH-Wert-Grenze bei etwa pH 9. Weitere Versuche sollen dazu dienen, den tatsächlichen pH-Wert zu ermitteln. Da grenzwertige Rezepturen in Bezug auf die einaxiale Druckfestigkeit erprobt wurden, erlaubt dies ein Interpolieren von Zwischenwerten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11728	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus einem HAW-Endlager in Kristallingestein (KOREKT)			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.1			
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2018 bis 30.06.2020		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 344.016,00 EUR		Projektleiter: Herold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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 festgelegt und auch im StandAG verankert. Die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen ist Genehmigungsvoraussetzung für die Inbetriebnahme eines solchen Endlagers. Ziel des Vorhabens ist es, aufbauend auf neuentwickelten Einlagerungskonzepten für ein HAW-Endlager im Kristallingestein (FuE-Vorhaben KONEKD), der bereits erfolgten systematischen Überprüfung der Sicherheitsanforderung „Rückholbarkeit“ (FuE-Vorhaben ASTERIX) und unter Einbeziehung der Ergebnisse des FuE-Vorhabens ERNESTA geeignete Rückholungskonzepte für HAW-Endlager in kristallinen Wirtsgesteinen zu entwickeln sowie deren Auswirkungen hinsichtlich Aufwand und Zeitbedarf abzuschätzen. Dies beinhaltet eine vertiefende Planung der Rückholungstechnik. Dabei werden auch die sicherheitstechnischen Konsequenzen und mögliche Auswirkungen der Sicherheitsanforderung „Rückholbarkeit“ auf die Endlagerauslegung verdeutlicht. Die Arbeiten sollen Grundlagen für eine genehmigungsreife technische Lösung für ein Endlager in kristallinen Gesteinsformationen liefern. Für die technische Umsetzung der Rückholung sollen die zwei Einlagerungskonzepte - Streckenlagerung von selbstabschirmenden POLLUX®-Behältern und Bohrlochlagerung von nicht abgeschirmten Kokillen in kurzen vertikalen Bohrlöchern - untersucht werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagen zur Berücksichtigung einer selektiven Rückholung in der Konzeptentwicklung
- AP2: Entwicklung eines Rückholungskonzepts für das Konzept multipler einschlusswirksamer Gebirgsbereiche
- AP3: Systemverhalten im Innenliner der Einlagerungsvariante vertikale Bohrlochlagerung im Konzept multipler einschlusswirksamer Gebirgsbereiche
- AP4: Entwicklung eines Rückholungskonzepts für das Konzept einschlusswirksame Barriere
- AP5: Entwicklung eines Rückholungskonzepts für das Konzept überlagernder einschlusswirksamer Gebirgsbereiche
- AP6: Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: In Abstimmung mit dem parallel bearbeiteten Vorhaben CHRISTA II wurden die neuesten Anpassungen des Einlagerungskonzeptes mit in die Rückholungsplanung aufgenommen. Statt einer BSK, wie noch in KONEKD vorgesehen, werden drei BSK je Bohrloch berücksichtigt. In CHRISTA II entwickelte Einlagerungsbereiche/Einlagerungsfelder dienen als Referenz. Aufbauend auf diesem Einlagerungskonzept wurden die notwendigen Arbeitsschritte zur Rückholung aller Behälter innerhalb eines solchen multiplen ewG-Bereichs bzw. Einlagerungsfeldes beschrieben. Dabei kann weitestgehend auf die aus ERNESTA bekannten bzw. dort entwickelten Techniken und Technologien zurückgegriffen werden. Unter der Annahme, dass alle alten Grubenbaue wiedergenutzt werden und eine Neuauffahrung nicht geplant ist, kann auch auf einen Bohr- und Sprengvortrieb verzichtet werden. Der Versatz/Buffer kann mit Ladern und Baggern gelöst werden.
- AP3: Die Untersuchungen zum Systemverhalten des Liners wurden im Berichtszeitraum begonnen. Parallel zu den Arbeiten der BGE TEC bzw. ergänzend dazu wurde an der TU Braunschweig (Institut für Grundbau und Bodenmechanik) eine Studienarbeit durchgeführt. Unter dem Titel "Untersuchung des Entnahmeverganges von Brennstabkokillen aus einem vertikalen Bohrloch in kristallinem Hartgestein" wurden Grundlagen zur Charakterisierung des Sandversatzes erarbeitet. Ergänzende thermo-mechanische Berechnungen zur Auslegung des Bohrlochliners bestätigten die vorläufige Dimensionierung des Stahlliners und zeigten, dass für die gewählte Teufe eine Optimierung und damit Reduzierung der Stahlmenge möglich ist. Zur besseren Beurteilung der Spannungsentwicklung und Spannungsverhältnisse wird das System im Innenliner in verschiedenen Modellen mit einem partikelbasierten Code (PCF) umgesetzt. Eine Einzelkokille wird unter Ausnutzung der Symmetrie abgebildet. Die Bewertung der konischen Außenform erfolgt über ein Scheibenmodell.
- AP4: Im modifizierten KBS-3 Konzept für ein Endlagersystem "ewB" ist ebenfalls die Einlagerung in vertikale Bohrlöcher vorgesehen. Da Behälter und Buffer die wesentlichen technischen Barrieren zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit darstellen wird im Konzept auf einen Innenliner und Sandverfüllung verzichtet. Für die Entnahme der Kokillen wurden vorangegangene Arbeiten aus Schweden und Japan analysiert. Das hydrodynamische Lösen des Bentonitbuffers wurde in beiden Endlagerprogrammen als Vorzugsvariante identifiziert und bereits großtechnisch erprobt. Eine Übertragung der Technik auf das deutsche Endlagerkonzept und eine Einbettung in den Rückholungsablauf wurde untersucht. Hervorzuheben ist, dass das Buffermaterial (Ca oder Na-Bentonit) einen Einfluss auf den Löseprozess hat. Der in anderen Endlagerprojekten eingesetzte Na-Bentonit neigt im Kontakt mit salinaren Lösungen zur Gelbildung und kann einfacher gelöst werden. Für den in Deutschland zu als Referenz genutzten Ca-Bentonit gilt dies nicht. Das Lösen muss hier rein hydrodynamisch (ggf. mit höheren Drücken) oder unter Zuhilfenahme anderer Zusätze erfolgen. Anforderungen an eine solche Vorrichtung und ein möglicher Aufbau werden auch unter Beachtung des Strahlenschutzes weiter vertieft.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Das Systemverhalten im Innenliner wird mit Hilfe numerische Modelle weiteruntersucht.
- AP4: Die Arbeiten zur Grobauslegung der Maschine zum Freispülen der Behälter werden abgeschlossen.
- AP5: Die Entwicklung eines Rückholungskonzeptes für POLLUX®-Behälter wird abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

P. Herold, E. Simo, J. Leonhard, N. Bertrams: Auslegungsanforderung Rückholbarkeit – Technische Konzepte und Auswirkungen auf die Endlagerauslegung, Vortrag, BGE-Workshop „Tage der Standortauswahl“, Dezember 2019, Braunschweig

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 11748A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2019 bis 31.12.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.521.440,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Langefeld	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das übergeordnete Ziel dieses Vorhabens ist es, der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Deutschland ein Stück näher zu kommen. Die Kenntnisse zur Verdichtung der Auflockerungszonen im Kontaktbereich zwischen Wirtgestein und Dammbauwerk sind elementar um eine sichere Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen im salinaren Milieu gewährleisten zu können.

Vorrausgegangen sind diesem Projekt die „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung– Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)“ mit dem FKZ 02E11253 sowie der „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches- Phase II (Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel) mit dem FKZ 02E11597. Diese Projekte lieferten das Basiswissen, auf welchem in diesem Projekt aufgebaut wird.

Im Rahmen dieses Projektes wird die In-situ-Testung des Konzeptes für eine gegenständliche Nachweisführung der strömungstechnischen Dichtwirkung eines Bauwerkes in der vierten Projektphase vorbereitet. Das Nachweiskonzept ist prinzipiell für verschiedene Wirtsgesteine geeignet. Entsprechend der Ausrichtung der Untersuchungen in den ersten beiden Projektphasen und dem Bezug zu den deutschen Endlagern im Salinargebirge werden die Untersuchungen in der dritten Projektphase ebenfalls auf Verschlussbauwerke im Salinargebirge ausgerichtet.

Folgende Untersuchungen sollen in diesem Projekt vor Ort durchgeführt und weitere Erkenntnisse gewonnen werden:

- geophysikalische Untersuchungen zur Beurteilung der differenzierten Vorgänge und Parameterverteilung im Kontaktbereich Dichtbaustoff/Gebirge
- Entwicklung und Testung ausgewählter Komponenten und Materialien eines In-situ-Versuches im halbtechnischen Maßstab -> u. a. Ringkammern, Bohrungsführung, Mehrfachpacker
- Auswahl, Parametrisierung und Vorgaben zur Qualitätssicherung für d. Einbau d. Dichtbaustoffes.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Kontaktbereich – Vertiefung Kenntnisstand

Durch Laboruntersuchungen soll der Kontaktbereich zwischen Bauwerk und Gebirge genauer untersucht werden.

AP2: Materialuntersuchungen

In Abhängigkeit von den Randbedingungen wie das geochemische Milieu, der zu injizierende Porenraum werden unterschiedliche Injektionsmittel auf Ihre Verwendbarkeit getestet werden.

AP3: Vorversuche zur Konzipierung der Versuchsinstallation

Die Voruntersuchungen beinhalten die Konzipierung, den Bau und die Testung von Installationskomponenten und die vorbereitende Klärung von Detailfragen für die Installation, Testung und Prozessbeurteilung.

AP4: In-situ-Voruntersuchungen

Die Erkenntnisse aus den vorherigen Arbeitspaketen werden in diesem Arbeitspaket aufgegriffen und dienen als Grundlage für die Durchführung von Handhabungs- und vereinfachten Referenzversuchen an einem in situ errichteten Segment eines Dammbauwerkes.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1:** Bohrkerne mit einem 96 mm Durchmesser wurden aus dem Umgebungsgebirge gewonnen. Diese Proben wurden auf ihre Gaspermeabilität und Porengrößenverteilung untersucht, deren Ergebnisse stehen noch aus. Das Arbeitsprogramm für die Laborproben wurde überarbeitet um, mehr Untersuchungen an den jeweiligen Proben durchzuführen. In-situ-Permeabilitätsmessungen wurden mithilfe von Packern in dem Stoß (Wand) und in der Sohle (Boden) der aufgefahrenen Strecke durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse wird im Februar 2020 erfolgen.
- AP2:** Der Magnesiabeton setzt sich aus den Bestandteilen Steinsalz, Magnesiachloridlösung und Magnesia zusammen. Diese Edukte müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllen, damit eine Vergleichbarkeit dieser Barriere mit anderen geotechnischen Barrieren im Bereich der Endlagerung herrscht. Diverse Anbieter dieser Produkte wurden kontaktiert und Produzenten für die Magnesiachloridlösung sowie für das Magnesia gefunden. Salz von unterschiedlichen Bergwerken und Anbietern wurde entnommen und beprobt. Das entnommene Salz wurde mit einem Siebturm und/oder mit einem Helos-Laserbeugungsmessgerät, auf die Korngrößenverteilung untersucht. Die untersuchten Salzprodukte lassen sich nicht wie angestrebt kombinieren. Aus diesem Grund wird die benötigte Korngrößenverteilung des Salzes nicht erreicht. Hier sind weitere Abstimmungen notwendig. Der Einsatz der Injektionsmittel hängt von der gemessenen Permeabilität im vorlaufenden Permeabilitätstest ab. Bei hoher Permeabilität wird im ersten Schritt ein partikelgestütztes Injektionsmittel injiziert, bei geringerer Permeabilität ein lösungsgestütztes Injektionsmittel. Eine Grenzpermeabilität, ob ein partikelgestütztes- oder lösungsgestütztes Injektionsmittel eingesetzt werden soll, wird in den Vorversuchen ermittelt. Als lösungsgestützte Injektionsmittel werden derzeit Natronwasserglas 37/40 sowie Denepox 40 betrachtet. Als partikelgestütztes Injektionsmittel wird derzeit der Injektionsmörtel IM4+ von der K-UTEC betrachtet.
- AP3:** Installationsleitungen werden von der Firma DESOI bezogen. Des Weiteren wurden die Mischer ausgewählt, mit denen sowohl der Beton für die Vorversuche als auch für das Bauwerk angemischt wird. Durch die Probleme bei der Salzbeschaffung haben sich die geplanten Vorversuche für das Upscaling verzögert.
- AP4:** Die Hydrofracbohrung wurde gestoßen, wodurch Spannungsänderungen im Gebirge gemessen werden können.

4. Geplante Weiterarbeiten

Folgende Parameter werden aus den Gesteinsproben gewonnen:

Mineralogie (qualitativ und quantitativ), Feuchtdichte, Reindichte, Spaltzugfestigkeit.

Kompositproben (bestehend aus Gebirge und dem Zement des Verschlussbauwerkes) sollen hergestellt und der Kontaktbereich zwischen den Materialien untersucht werden.

Die konzipierten Injektionsleitungen und die Injektionsmittel werden auf Ihre Funktionalität getestet.

Die Vorversuche bezüglich des Baustoffes sollen durchgeführt sowie das Bauwerk errichtet werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11748B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2019 bis 31.12.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 39.015,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kulenkampff	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das übergeordnete Ziel dieses Verbundvorhabens ist es, der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Deutschland ein Stück näher zu kommen. Die Kenntnisse zur Verdichtung der Auflockerungszonen im Kontaktbereich zwischen Wirtgestein und Dammbauwerk sind elementar um eine sichere Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen im salinaren Milieu gewährleisten zu können.

Dieses Projekt baut auf die Ergebnisse zweier Projekte der TU Clausthal auf: „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung– Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)“ (02E11253) sowie der „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches-Phase II (Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel) (02E11597).

Im Rahmen dieses Projektes wird die In-situ-Testung des Konzeptes für eine gegenständliche Nachweisführung der strömungstechnischen Dichtwirkung eines Bauwerkes in der vierten Projektphase vorbereitet. Das Nachweiskonzept ist prinzipiell für verschiedene Wirtgesteine geeignet. Entsprechend der Ausrichtung der Untersuchungen in den ersten beiden Projektphasen und dem Bezug zu den deutschen Endlagern im Salinargebirge werden die Untersuchungen in der dritten Projektphase ebenfalls auf Verschlussbauwerke im Salinargebirge ausgerichtet.

Folgende Untersuchungen sollen in diesem Projekt vor Ort durchgeführt und weitere Erkenntnisse gewonnen werden:

- geophysikalische Untersuchungen zur Beurteilung der differenzierten Vorgänge und Parameterverteilung im Kontaktbereich Dichtbaustoff/Gebirge,
- Entwicklung und Testung ausgewählter Komponenten und Materialien eines In-situ-Versuches im halbtechnischen Maßstab -> u. a. Ringkammern, Bohrungsführung, Mehrfachpacker,
- Auswahl, Parametrisierung und Vorgaben zur Qualitätssicherung für den Einbau des Dichtbaustoffes.

Das Teilprojekt des HZDR fokussiert auf die Materialdurchlässigkeit als den entscheidenden Parameter. Aus dem Vergleich von Porenradienverteilungen aus 3D-bildgebenden Verfahren (μ CT) und Hg-Porosimetrie werden robuste Verfahren und Modelle entwickelt, die eine quantitativ zuverlässige Bewertung der strömungswirksamen Porosität des Materials ermöglichen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Kontaktbereich – Vertiefung Kenntnisstand
Durch Laboruntersuchungen soll der Kontaktbereich zwischen Bauwerk und Gebirge genauer untersucht werden.
- AP2: Materialuntersuchungen
In Abhängigkeit von den Randbedingungen wie das geochemische Milieu, der zu injizierende Porenraum werden unterschiedliche Injektionsmittel auf Ihre Verwendbarkeit getestet werden.
- AP3: Vorversuche zur Konzipierung der Versuchsinstallation
Die Voruntersuchungen beinhalten die Konzipierung, den Bau und die Testung von Installationskomponenten und die vorbereitende Klärung von Detailfragen für die Installation, Testung und Prozessbeurteilung.
- AP4: In-situ-Voruntersuchungen
Die Erkenntnisse aus den vorherigen Arbeitspaketen werden in diesem Arbeitspaket aufgegriffen und dienen als Grundlage für die Durchführung von Handhabungs- und vereinfachten Referenzversuchen an einem in situ errichteten Segment eines Dammbauwerkes.
- AP5: Berichtslegung – Dokumentation, Interpretation, Schlussfolgerungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: μ CT-Testmessungen wurden vorläufig anhand von Bruchstücken zur Optimierung der Aufnahmeparameter durchgeführt. Der erste Satz formatisierter Steinsalzproben für die kombinierte Anwendung von μ CT und Hg-Porosimetrie wurde vom Partner IGEWA hergestellt.
- AP2–AP4 sind überwiegend von den Projektpartnern zu bearbeiten. Hierüber wird im Zwischenbericht zum Teilprojekt A des Koordinators (TU Clausthal) berichtet.

4. Geplante Weiterarbeiten

μ CT-Messungen und Analyse in Verbindung mit Hg-Porosimetrie werden planmäßig durchgeführt. Der erste Probensatz soll im 1. Quartal 2020 untersucht werden. Für später anstehende Untersuchungen des Kontaktbereichs wird die Einbeziehung von Transportuntersuchungen mit PET-Tracern geprüft, weil hiermit die direkte Darstellung des strömungswirksamen Volumens möglich ist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11749
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung der Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik von Endlagerbehältern (TREND)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.1+3.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2019 bis 28.02.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 563.242,17 EUR	Projektleiter: Bertrams	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, die Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik für verschiedene Abfallgebinde in unterschiedlichen Endlagerkonzepten auf einen vergleichbaren Entwicklungsstand zu bringen. Im Ergebnis soll ein weitestgehend homogener Entwicklungsstand der Transport- und Einlagerungstechnik über die verschiedenen Kombinationen von Einlagerungskonzepten und Wirtsgesteinen hinweg erreicht werden.

Die Planungen der existierenden und erprobten Technik für die Streckenlagerung von POL-LUX®-Behältern (F&E Programm DEAB) und die vertikale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen in Salz (F&E Vorhaben DENKMAL) sind hinsichtlich des Standes der Technik zu überprüfen und ggf. weiter zu entwickeln. Die bisherige Konzeptidee zur horizontalen Bohrlochlagerung aus dem F&E Vorhaben KOSINA soll deutlich weiterentwickelt werden, so dass wesentliche Maße und technische Daten der Technik zur Verfügung stehen. Im Bereich der direkten Endlagerung von Transport- und Lagerbehälter ist eine Weiterentwicklung durchzuführen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Grundlagen

AP2: Einlagerungskonzept: Horizontale Kurzbohrlochlagerung von Transport- und Lagerbehältern

AP3: Einlagerungskonzept: Streckenlagerung

AP4: Einlagerungskonzept: Vertikale Bohrlochlagerung

AP5: Einlagerungskonzept: Horizontale Bohrlochlagerung

AP6: Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten des AP2 wurden abgeschlossen. Für die Weiterentwicklung der Transport- und Einlagerungstechnik der direkten Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern wurde ein Anforderungskatalog erarbeitet. Dieser Katalog wurde systematisch sortiert und in ein Lastenheft überführt. Mit Hilfe dieses Lastenhefts wurden Optimierungsbedarfe an der Einlagerungsvorrichtung identifiziert und verschiedene Varianten zur Weiterentwicklung erarbeitet. Aus diesen Varianten wurde durch eine Nutzwertanalyse eine Vorzugsvariante abgeleitet. Für diese wurde eine Entwurfskonstruktion erstellt. Parallel wurden Sicherheitsrisiken analysiert, welche durch den Einsatz der Transport- und Einlagerungstechnik entstehen sowie geeignete Maßnahmen entworfen, um diesen Risiken zu begegnen.

Die Arbeiten an AP3 und AP4 wurden begonnen, indem Anforderungskataloge erstellt und konzeptionelle Ideen diskutiert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zu AP3, 4 und 5 werden analog zur methodischen Vorgehensweise aus AP2 durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		Förderkennzeichen: 02 E 11759A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022		Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 375.308,00 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Schäfer

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, das mechanistische Verständnis der Prozesse weiter zu vertiefen, die unter naturnahen, endlagerrelevanten Bedingungen in geklüfteten Granitsystemen die Integrität der Bentonitbarriere beeinträchtigen und zu einem kolloidgetragenen Radionuklid (RN)-Transport führen können. Dies umfasst die grundlegenden Mechanismen der Bentoniterosion und Kolloidbildung am Übergang des Bentonit- Versatzes/Puffers zum Kristallingestein, die RN-Speziation, insbesondere die Wechselwirkungen zwischen RNs und Kolloiden sowie die Wechselwirkungen von gelösten RN und/oder Kolloiden mit den Gesteinsoberflächen. Die geplanten Arbeiten bauen auf den in Kolorado-e2 erzielten Erkenntnissen auf.

Das experimentelle Programm im Labor und im Untertagelabor Grimsel unter Anwendung von spektroskopischen und mikroskopischen Methoden der Partner FSU und KIT-INE soll dazu beitragen, ein verbessertes mechanistisches Verständnis der Integrität der Bentonitbarriere und des kolloidgetragenen RN-Transports zu erreichen. Es soll die Übertragbarkeit der Labordaten auf natürliche Systeme überprüft und Eingangsdaten für die in der Langzeitsicherheitsanalyse von GRS verwendeten Codes CLAYPOS, COFRAME und d^3f^{++} ermittelt werden. Diese Codes sowie von KIT-INE und FSU genutzte gekoppelte reaktive Transportmodelle werden zur Beschreibung der Feldexperimente weiterentwickelt, angewandt und damit weiter qualifiziert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelles Programm zum kolloidgetragenen RN-Transport (KIT, FSU)
- AP1.1: Radionuklidtransport in kompaktiertem Bentonit
- AP1.2: Integrität der Bentonitbarriere
- AP1.3: Kolloidgetragener Radionuklidtransport
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS, KIT, FSU)
- AP2.1: Benchmarkrechnungen zu thermodynamischen Daten (GRS, KIT, FSU)
- AP2.2: Simulationsrechnungen für das CFM Experiment LIT und Mock-Up Tests (GRS)
- AP2.3: Simulationsrechnungen für bisherige und weitere CFM Feldexperimente (GRS)
- AP2.4: Modellrechnungen/Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP3: Integration der Ergebnisse und Abschlussdokumentation (GRS, KIT, FSU)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Nach Ausbau des LIT-Packers (Durchmesser 360 mm, Länge ca. 800 mm) wurde dieser komplett mittels CT bei EMPA (CH) gescannt und die zur Verfügung stehenden Daten in ersten Versuchen zur Differenzierung der Klufthohlräume und der verschiedenen Bentonittypen (Ni-/Zn- Montmorillonit, Febex-Bentonit) bzw. der Radionuklid-Vials an der FSU im Vergleich zur Uni Bern segmentiert.
- Die Doktorandenstelle zum Einfluss akzessorischer Gemengeteile des Bentonits und der Kluftgeometrie auf das Erosionsverhalten in Laborexperimenten im Vergleich zu den in situ LIT bzw. zukünftigen i-BET Ergebnissen wurde mit M. Sc. Janis Pingel besetzt. Für die zweite Doktorandenstelle in Kombination zwischen KIT-INE und FSU gestaltet sich die Kandidaten/innensuche als weiterhin schwierig. Kontinuierliche Probennahmen im i-BET Experiment im Rahmen des CFM-Projekts zum Erosionsverhalten von Bara Kade (MX-80) Bentonit werden von Seiten FSU mittels nasschemischer und Kolloidanalysen (speziell NTA) momentan im Rahmen einer Masterarbeit bearbeitet und ausgewertet.
- AP2: Die thermodynamischen Simulationsrechnungen der Mischwässer sind abgeschlossen und ein Manuskript der deutschen Aktivitäten soll im Januar 2020 eingereicht werden. Die von internationalen Modellierungsgruppen durchgeführten CFM thermodynamischen Benchmark Kalkulationen sind hinsichtlich der Verwendung von Silica-Spezies und der Auswahl der Löslichkeitsbestimmenden Festphasen leider weiterhin in Iteration.
- AP3: Ein erstes Arbeitstreffen zur Abstimmung der Arbeiten zwischen KIT, FSU und GRS wurde im Rahmen des Kick-Off-Meeting des KOLLORADO-e3 Konsortiums zusammen mit dem CFM Phase 4 Partner Meeting am 17. – 19. Oktober 2019 in Jena durchgeführt. Hier ist die geplante Probennahme-Strategie des LIT-Bohrkernes mit den CFM-Partnern abgestimmt worden. Die Probenahme wird von Nagra koordiniert und zusammen mit den KOLLORADO-e3 Partnern durchgeführt. Die Vorstellung der KOLLORADO-e2 und die geplanten Arbeiten von KOLLORADO-e3 auf der Goldschmidt-Konferenz 2019 (Barcelona) und der MIGRATION 2019 Konferenz (Kyoto) wurde durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Fortsetzung der nasschemischen Analysen (ICP-MS, IC, gegebenenfalls LC-OCD- OND) der Kontaktwässer des i-BET Experiments sowie Kolloidanalysen mittels Nanopartikel-Tracking System (NTA) im Vergleich zu Analysen des KIT-INE (ICP-MS, LIBD).
- Aufbereitung der Tonmineralfraktion von verschiedenen Bentoniten (Febex, MX-80) und gezielte Zugabe von Mineralphasen unterschiedlicher Größenverteilung und Reaktivität (Quarz, Feldspat, Karbonate) zur Untersuchung des Einflusses von akzessorischen Gemengeteilen auf die Bentonit-Erosion.
- Charakterisierung des im LIT-Experiment eingesetzten Bentonits (FEBEX) in Bezug auf dessen Expansionslänge (XRM) sowie eine mineralogische Charakterisierung der Ton-/Gelschicht und dessen mögliche Transformation mittels LA-ICP-MS. Untersuchung der Verteilung des im LIT eingesetzten synthetischen Zn-Montmorillonits sowie einer Quantifizierung der austauschbaren Kationen der Bentonitquelle.
- Quantitative Charakterisierung der Erosion des im i-BET-Experiments eingesetzten Montmorillonits (speziell zur gravimetrischen Erosion).

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Schäfer, Noseck, et al. (2020): Integrity of the bentonite barrier for the retention of radionuclides in crystalline host rock - experiments and modeling - (Project KOLLORADO-e2; Final report); KIT scientific report 7757. KIT, Karlsruhe (in press)

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11759B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 371.183,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, das mechanistische Verständnis der Prozesse weiter zu vertiefen, die unter naturnahen, endlagerrelevanten Bedingungen in geklüfteten Granitsystemen die Integrität der Bentonitbarriere beeinträchtigen und zu einem kolloidgetragenen Radionuklid (RN)-Transport führen können. Dies umfasst die grundlegenden Mechanismen der Bentoniterosion und Kolloidbildung am Übergang des Bentonit- Versatzes/Puffers zum Kristallingestein, die RN-Speziation, insbesondere die Wechselwirkungen zwischen RNs und Kolloiden sowie die Wechselwirkungen von gelösten RN und/oder Kolloiden mit den Gesteinsoberflächen. Die geplanten Arbeiten bauen auf den in Kolorado-e2 erzielten Erkenntnissen auf.

Das experimentelle Programm im Labor und im Untertagelabor Grimsel unter Anwendung von spektroskopischen und mikroskopischen Methoden der Partner FSU und KIT-INE soll dazu beitragen, ein verbessertes mechanistisches Verständnis der Integrität der Bentonitbarriere und des kolloidgetragenen RN-Transports zu erreichen. Es soll die Übertragbarkeit der Labordaten auf natürliche Systeme überprüft und Eingangsdaten für die in der Langzeitsicherheitsanalyse von GRS verwendeten Codes CLAYPOS, COFRAME und d^3f^{++} ermittelt werden. Diese Codes sowie von KIT-INE und FSU genutzte gekoppelte reaktive Transportmodelle werden zur Beschreibung der Feldexperimente weiterentwickelt, angewandt und damit weiter qualifiziert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelles Programm zum kolloidgetragenen RN-Transport (KIT, FSU)
- AP1.1: Radionuklidtransport in kompaktiertem Bentonit
- AP1.2: Integrität der Bentonitbarriere
- AP1.3: Kolloidgetragener Radionuklidtransport
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS, KIT, FSU)
- AP2.1: Benchmarkrechnungen zu thermodynamischen Daten (GRS, KIT, FSU)
- AP2.2: Simulationsrechnungen für das CFM Experiment LIT und Mock-Up Tests (GRS)
- AP2.3: Simulationsrechnungen für bisherige und weitere CFM Feldexperimente (GRS)
- AP2.4: Modellrechnungen/Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP3: Integration der Ergebnisse und Abschlussdokumentation (GRS, KIT, FSU)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Proben, die im Rahmen der zwei Remobilisationstests REMOB und REMO-II im KOLLORADO-e2 genommen wurden, wurden mittels AMS nachträglich analysiert. Im REMOB Experiment wurden durch eine hydraulische Störung des Injektionsbereichs von Run 13-05 Grundwasserproben gewonnen, in denen die Konzentrationen von ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{243}Am in einem Konzentrationsbereich von 0.1 ppq bis zum 1 ppt gemessen wurden. Mit dem REMO-II Test wurde die Injektion von Bentonitkolloiden als Konkurrenzoberfläche in den Injektionsbereich von Run 13-05 getestet. In diesen Proben wurden deutlich niedrigere Konzentrationen von diesen Actiniden (0.01 ppq – 10 ppq) gefunden. Die Interpretation der Ergebnisse im Gesamtkontext steht noch aus. Weiterhin wurden die Konzentrationen der Radionuklidtracer (RN) ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{99}Tc in Grimsel-Grundwasserproben aus dem Long-term In-situ-Test (LIT) mittels AMS bestimmt. Diese Proben wurden an zwei Stellen entnommen, die 4.5 cm von dem LIT entfernt waren. Auch in diese Proben findet man deutliche Konzentrationen der RN-Tracer, wobei die genaue Auswertung sowie die Interpretation der Ergebnisse noch aussteht.
- Um einen Bohrkern des LIT Mock-up-Versuchs und andere feste Proben „post mortem“ zu analysieren, wurde ein Laser-Ablationssystem (LA) gekoppelt an eine ICP-MS im Kontrollbereich des KIT-INE aufgebaut und in Betrieb genommen.
- Die für das KOLLORADO-e3- Vorhaben vorgesehene, aber bisherige vakante PostDoc-Stelle am KIT-INE, konnte im Dezember 2019 endlich besetzt werden. Zum Aufgabebereich dieser Stelle gehören unter anderem die geplanten Post-mortem-Analysen des LIT mittels LA-ICP-MS.
- AP3: Das Kick-Off-Meeting der CFM Partner für die CFM Phase 4 hat am 17. – 19. Oktober 2019 in Jena stattgefunden. Hier wurde die geplante Probennahme-Strategie des LIT-Bohrkernes mit der Nagra abgestimmt, die insbesondere für die geplanten Aktivitäten am KIT-INE sehr wichtig ist. Die Probenahme selbst wird durch die Nagra durchgeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1+2: Die LA-ICP-MS wird hinsichtlich der Untersuchungen zu den inaktiven LIT Mock-up Versuche getestet, mit dem Fokus auf der Probenvorbereitung.
- Die LIBD-Technik wird für die Detektion von Ton-Kolloiden innerhalb der geplante Versuche weiterentwickelt.
- Weitere Grimsel-Grundwasserproben werden mittels AMS analysiert um die In-situ-Diffusion von den Radionuklidtracern ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{99}Tc im LIT zu überprüfen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Rinderknecht, Noseck, Schäfer: Integrity of the bentonite barrier for the retention of radionuclides in crystalline host rock - experiments and modeling - (Project KOLLORADO-e2; Final report); KIT scientific report 7757. KIT, Karlsruhe, 2019 (in prep.)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11759C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 291.340,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, das mechanistische Verständnis der Prozesse weiter zu vertiefen, die unter naturnahen, endlagerrelevanten Bedingungen in geklüfteten Granitsystemen die Integrität der Bentonitbarriere beeinträchtigen und zu einem kolloidgetragenen Radionuklid (RN)-Transport führen können. Dies umfasst die grundlegenden Mechanismen der Bentonitrosion und Kolloidbildung am Übergang des Bentonit- Versatzes/Puffers zum Kristallgestein, die RN-Speziation, insbesondere die Wechselwirkungen zwischen RNs und Kolloiden sowie die Wechselwirkungen von gelösten RN und/oder Kolloiden mit den Gesteinsoberflächen. Die geplanten Arbeiten bauen auf den in Kolorado-e2 erzielten Erkenntnissen auf.

Das experimentelle Programm im Labor und im Untertagelabor Grimsel unter Anwendung von spektroskopischen und mikroskopischen Methoden der Partner FSU und KIT-INE soll dazu beitragen, ein verbessertes mechanistisches Verständnis der Integrität der Bentonitbarriere und des kolloidgetragenen RN-Transports zu erreichen. Es soll die Übertragbarkeit der Labordaten auf natürliche Systeme überprüft und Eingangsdaten für die in der Langzeitsicherheitsanalyse von GRS verwendeten Codes CLAYPOS, COFRAME und d^{3f++} ermittelt werden. Diese Codes sowie von KIT-INE und FSU genutzte gekoppelte reaktive Transportmodelle werden zur Beschreibung der Feldexperimente weiterentwickelt, angewandt und damit weiter qualifiziert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelles Programm zum kolloidgetragenen RN-Transport (KIT, FSU)
 - AP1.1: Radionuklidtransport in kompaktiertem Bentonit
 - AP1.2: Integrität der Bentonitbarriere
 - AP1.3: Kolloidgetragener Radionuklidtransport
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS, KIT, FSU)
 - AP2.1: Benchmarkrechnungen zu thermodynamischen Daten (GRS, KIT, FSU)
 - AP2.2: Simulationsrechnungen für das CFM Experiment LIT und Mock-Up Tests (GRS)
 - AP2.3: Simulationsrechnungen für bisherige und weitere CFM Feldexperimente (GRS)
 - AP2.4: Modellrechnungen/Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP3: Integration der Ergebnisse und Abschlussdokumentation (GRS, KIT, FSU)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Fertigstellung einer Veröffentlichung für Environmental Science and Technology zum ersten Teil des thermodynamischen Benchmarks mit den Ergebnissen der deutschen Teilnehmer GRS und KIT-INE.

Teilnahme an der Konferenz Migration 2019 mit einer Vorstellung der Ergebnisse zur Simulation aller im Rahmen von CFM durchgeführten Feldexperimente zum Kolloid-getragenen Homolog-/Radionuklidtransport und den Schlussfolgerungen.

AP3: Durchführung eines weiteren Arbeitstreffens mit FSU am Rand der Migration-Konferenz in Kyoto zur Diskussion der Ergebnisse der thermodynamischen Benchmarkrechnungen und Klärung der offenen Fragen mit den Partnern aus Japan, Spanien und Korea.

Teilnahme an einem Meeting zum Long-term Diffusion Test (LTD) in Kyoto mit Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse zum Thermodynamischen Benchmark.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Zusammenstellung und Auswertung der neuen Ergebnisse von NUMO, KAERI und CIEMAT zum ersten Teil des thermodynamischen Benchmarks. Erstellung einer zweiten Veröffentlichung mit den Ergebnissen aller Teilnehmer.

Vorbereitung des zweiten Teils der thermodynamischen Benchmark-Rechnungen mit Einbeziehung von Ionenaustausch und Oberflächenkomplexierung an Mineralphasen des Bentonits und des kristallinen Wirtsgesteins im Nahbereich des LIT-Experiments. Abstimmung mit allen Teilnehmern und Verschickung der Unterlagen.

Überprüfung der Vorhersagerechnungen zur Diffusion im Bentonit anhand von Elementverteilungen im LIT-Bohrkern, sobald die Ergebnisse vorliegen und ggf. Modifikation der Rechnungen entsprechend der beobachteten Parameter.

Sofern im Hinblick auf ein weiteres Dipolexperiment zur genaueren Untersuchung der Sorptions-/Redoxkinetik ein erster Test mit einem nicht-sorbierenden Tracer stattgefunden hat, werden Vorhersagerechnungen mit dem Code COFRAME durchgeführt.

AP3: Durchführung eines weiteren Projekttreffens zum Austausch von Ergebnissen und Koordination der weiteren Arbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Noseck, U., Schäfer, Th., Reiche, T., Blechschmidt, I.: Calculations for Radionuclide and Colloid Transport in a Granitic Shear Zone at the Grimsel Test Site (Cfm Project). Posterpräsentation für die Konferenz Migration 2019, September 15 – 20, 2019, Kyoto, Japan.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11769A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 31.10.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.409.542,00 EUR	Projektleiter: Dr. Gruner	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Der MgO-Beton D4 ist in zukünftigen HAW-Endlagern als Widerlagermaterial mit Abdichtfunktion für Schachtverschlüsse (in Ortbeton) und für Streckenverschlüsse (in Spritzbeton) sowohl im Steinsalz als auch im Anhydrit potentiell einsetzbar. Das Vorhaben MgO-S3 schafft wissenschaftliche und technische Voraussetzungen für die Konzeption und den Bau von Streckenverschlussbauwerken aus MgO-Spritzbeton, die für eine genehmigungsfähige Errichtung zukünftiger Streckenverschlussbauwerke aus MgO-Spritzbeton in zukünftigen HAW-Endlagern im Steinsalz genutzt werden können. Dazu soll die Datenbasis für MgO-Spritzbetonbauwerke im Steinsalz vervollständigt werden.

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgt gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) als Verbundpartner und mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als Partner auf Basis einer Zusammenarbeitserklärung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Selektiver Rückbau des Funktionsbauwerkes GV2.

AP2: Untersuchungen zur möglichen Variation der Spritzbetonrezeptur im Hinblick auf die technologische Verarbeitbarkeit.

AP3: Laboruntersuchungen zur Vervollständigung der Datenbasis für MgO-Spritzbeton.

AP4: Synthese/Wissenschaftliches Programm für ein In-situ-Verschlussbauwerk aus MgO-Spritzbeton im Steinsalz.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Bohrarbeiten wurden aufgrund von technischen Schwierigkeiten unterbrochen. Bisher gewonnenes Probematerial wurde an IfG und HZDR übergeben.
Bei der Auffahrung auf der rechten Seite des GV2 wurde ein Teil der Kontur bis ca. 1,7 m Tiefe freigelegt. Da sich herausgestellt hat, dass das konturnahe Gebirge teilweise fest am Dammkörper haftet, wurde entschieden, vorerst nicht die gesamte Kontur freizulegen. Mit der Untersuchung der Kontaktfläche wurde begonnen.
- AP2: Bisher wurden drei Spritzversuche im Technikumsmaßstab durchgeführt (Reproduzieren der GV2-Rezeptur, Teilversuche mit Salzzuschlag). Die Frühfestigkeit (indirekt gemessen mit einem Penetrometer) des aufgespritzten Mörtels ist bei MgO-Spritzbeton mit Salzzuschlag (0-8 mm) höher (ca. 0,20 MPa, max. 0,25 MPa), als bei MgO-Spritzbeton mit Hartgesteinszuschlag (0,05 bis 0,10 MPa).
- AP3: Für MgO-Spritzbeton mit silikatischem Zuschlag beträgt nach 28 Tagen die Spaltzugfestigkeiten ca. 8 MPa und die einaxiale Druckfestigkeit ist bei 2 von 3 Proben > 55 MPa. Für Spritzbeton mit Salzzuschlag lagen die Spaltzugfestigkeiten bei 3,6 bis 6,4 MPa und die einaxiale Druckfestigkeit bei 43 bis 51 MPa.
- AP4: Noch keine Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Überbohren der Bohrungen B38, B39, B40 und B41. Untersuchung der Kontur des MgO-Spritzbetons und Gewinnung repräsentativer Proben. Abstimmung mit der BAM über die Position der für die von der Betonoberfläche in radialer Richtung ausgehenden Ultraschall-Messungen und Herstellung der erforderlichen Oberflächen.
- AP2: Fortsetzung des Laborprogramms zur Untersuchung von Spritzbetonrezepturvarianten mit unterschiedlichen Masseverhältnissen Zuschlag:MgO, wobei der Zuschlag aus silikatischem Hartgestein oder aus Steinsalzgrus unterschiedlicher Kornverteilung besteht. Halbtechnischer Spritzversuch mit der GV2-Rezeptur (silikatischer Zuschlag) bei Variation des Masseverhältnisses Lösung:MgO. In-situ-Spritzversuch in der Grube Teutschenthal für den Nachweis der Reproduzierbarkeit der GV2-Rezeptur (Rezepturtyp D4). Spritzversuche mit MgO-Steinsalz-Trockenmischung (ca. 20 % MgO in der Trockenmischung) bei optimalem Masseverhältnis Lösung:MgO (Rezepturtyp D4S).
- AP3: Fortsetzung der Untersuchungen zur Festigkeit des MgO-Spritzbetons aus den Spritzversuchen.
Bereitstellung und Untersuchung von Proben des MgO-Betons aus dem Bauwerk GV2 nach Lösungseinwirkung.
- AP4: Noch keine Arbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11769B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 31.10.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 168.309,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kulenkampff	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Der MgO-Beton D4 ist in zukünftigen HAW-Endlagern als Widerlagermaterial mit Abdichtfunktion für Schachtverschlüsse (in Ortbeton) und für Streckenverschlüsse (in Spritzbeton) sowohl im Steinsalz als auch im Anhydrit potentiell einsetzbar. Das Vorhaben MgO-S3 schafft wissenschaftliche und technische Voraussetzungen für die Konzeption und den Bau von Streckenverschlussbauwerken aus MgO-Spritzbeton, die für eine genehmigungsfähige Errichtung zukünftiger Streckenverschlussbauwerke aus MgO-Spritzbeton in zukünftigen HAW-Endlagern im Steinsalz genutzt werden können. Dazu soll die Datenbasis für MgO-Spritzbetonbauwerke im Steinsalz vervollständigt werden.

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgt gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg (TU-BAF) als Koordinator und mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als Partner auf Basis einer Zusammenarbeitserklärung.

Das Teilprojekt des HZDR soll Fragen klären, die mit der Parametrisierung der Durchlässigkeit des prinzipiell inhomogenen Materials verbunden sind.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Selektiver Rückbau des Funktionsbauwerkes GV2.

AP2: Untersuchungen zur möglichen Variation der Spritzbetonrezeptur im Hinblick auf die technologische Verarbeitbarkeit.

AP3: Laboruntersuchungen zur Vervollständigung der Datenbasis für MgO-Spritzbeton.

AP4: Synthese/Wissenschaftliches Programm für ein In-situ-Verschlussbauwerk aus MgO-Spritzbeton im Steinsalz.

Im Teilprojekt des HZDR werden im Rahmen der AP1 und 3 Transportuntersuchungen im Labor in Langzeit-Injektionsexperimenten mit Erfassung durch Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und strukturelle Untersuchungen mit μ CT vorgenommen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1/3: Herstellung einer Versuchszelle anhand der Ergebnisse von Langzeit-PET-Untersuchungen im Rahmen des EU-Projektes CEBAMA. μ CT-Testmessungen an Bruchstücken aus dem Kontaktbereich Bohrung GV2. In-house-Herstellung des PET-Tracers Na-22.

AP2: Keine eigenen Arbeiten im Teilprojekt.

AP3: Noch keine Arbeiten

AP4: Noch keine Arbeiten

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1/3: Testmessungen in der neuen Versuchszelle mit vom IfG Leipzig bereitgestellten Probenmaterial. Parametrisierung heterogener Transportvorgänge.

AP2: Keine eigenen Arbeiten im Teilprojekt.

AP3: Untersuchungen zur Frühfestigkeit des MgO-Spritzbetons.

AP4: Noch keine Arbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin		Förderkennzeichen: 02 E 11779
Vorhabensbezeichnung: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz, Qualitätssicherung mit Ultraschall (MgO-S3)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 31.10.2021	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 14.816,00 EUR	Projektleiter: Dr. Niederleithinger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Dieses Vorhaben wird in Nachfolge des Vorhabens „MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von MgCl₂-Lösung (MgO-SEAL)“ (Förderkennzeichen: 02E11435, 01.10.2015 - 30.04.2019) und im Verbund mit „Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A“ (Förderkennzeichen: 02E11769A) durchgeführt.

Das Verbundvorhaben soll belegen, dass beim Angriff von MgCl₂-haltiger gesättigter NaCl-Lösung auf dem MgO-Spritzbeton, die Phasenumwandlung der 5-1-8-Phase in die thermodynamisch stabile 3-1-8-Phase zu einer Reduzierung der Permeabilität führt. Dazu sollen Proben aus dem MgO-Spritzbeton untersucht werden, die ausreichend lange unter Einwirkung der Lösung standen. Diese Proben sollen sowohl aus den Langzeitbohrlochversuchen im MgO-Spritzbetonbauwerk GV2 als auch durch dessen partiellen Rückbau gewonnen werden.

Das hier beschriebene Vorhaben umfasst im Wesentlichen Ultraschalluntersuchungen am Bauwerk und an Proben, deren Auswertung sowie Empfehlungen für das weitere Vorgehen und zukünftige Qualitätssicherung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die BAM hat Anteile in folgenden Arbeitspaketen des Verbundprojekts

- AP1: Selektiver Rückbau des Funktionsbauwerkes GV2
- AP1.1: Aufnahme des Ist-Zustandes des MgO-Spritzbetons
- AP3: Laboruntersuchungen zur Vervollständigung der Datenbasis für MgO-Spritzbeton
- AP3.7: Materialcharakterisierung durch US-Anwendungen
- AP4: Synthese/Wissenschaftliches Programm für ein In-situ-Verschlussbauwerk aus MgO-Spritzbeton im Steinsalz
- AP4.3: Vorschlag für die begleitende Qualitätssicherung bzw. -dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Dem Ablaufplan des Verbundvorhabens gemäß hat zum Berichtszeitpunkt keines der aufgelisteten Unterarbeitspakete begonnen.

Bisher wurden daher plangemäß keine Arbeiten durchgeführt. Herr Dr. Oesch, der das Vorhaben in der BAM fachlich betreut, hat an allen bisherigen Projektsitzungen des Verbundvorhabens teilgenommen, um die zukünftige Zusammenarbeit zu koordinieren. Die Durchführung von Ultraschalluntersuchungen und die Vorbereitung der entsprechenden Dokumentation sollten erst im Haushaltsjahr 2020 anfangen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Zur Verifizierung früherer Untersuchungen und zur Identifikation von einzelnen Homogenbereichen, die nachfolgend untersucht werden sollen, werden vor bzw. nach der Auffahrung eines Hohlraums systematisch zerstörungsfreie Ultraschalluntersuchungen von der Luftseite sowie vom seitlichen Aufschluss her durchgeführt.

Der MgO-Spritzbeton wird durch Ultraschall-Messungen mit folgenden Zielen charakterisiert:

- inklusive Untersuchungen zur Bestimmung von Ultraschall-Materialparametern
- Identifikation von Fehlstellen
- Ableitung von möglichen Parametern für eine Qualitätsüberwachung.

Vorschläge für die Qualitätssicherung bzw. –dokumentation von Ultraschalluntersuchungen werden vorbereitet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V., Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 11789
Vorhabensbezeichnung: Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2019 bis 30.11.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 312.050,42 EUR	Projektleiter: Dr. Chaudry	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt verfolgt das Ziel, Handlungsoptionen und Handlungsbedarfe in Bezug auf die Entsorgungswege für abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle aufzuzeigen. Es will damit eine Basis schaffen, die Integration der verschiedenen Entsorgungsschritte (Zwischenlagerung, Konditionierung, Transporte bis hin zur Endlagerung) aktiv zu gestalten. Außerdem sollen Aufgaben und Ziele für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen sichtbar gemacht und eine Grundlage für wirtschaftliche Betrachtungen im Zuge zukünftiger Konkretisierungen der Entsorgungswege geschaffen werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

WERA ist in vier Arbeitspakete gegliedert:

AP1 widmet sich der systematischen Zusammenstellung von relevanten Bausteinen der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle. Analog zu den bei der Langzeitsicherheitsanalyse eingeführten FEP-Katalogen entsteht auf diese Weise ein Baukasten, der zur Ableitung von Entsorgungsszenarien dient.

In AP2 werden aus den Bausteinen Entsorgungsszenarien von der Zwischenlagerung bis zur Endlagerung beschrieben. Dabei wird zunächst eine größere Anzahl an grundsätzlich plausiblen Szenarien entworfen.

In AP3 werden aus der so entstehenden größeren Anzahl an Szenarien drei repräsentative Szenarien für eine detailliertere Analyse ausgewählt. Für diese Szenarien werden die zu erwartenden Abläufe und Schnittstellen beschrieben und relevante Einflussgrößen identifiziert.

In AP4 werden die Erkenntnisse in einem Stakeholder-Workshop diskutiert, der mit einem Arbeitspapier vorbereitet wird. Die Ergebnisse fließen dann in den Abschlussbericht ein, in dem auch Vorschläge für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben adressiert werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten zu AP1 und erste Schritte im Hinblick auf die in AP2 durchzuführende Szenarientwicklung durchgeführt. In zwei Projekttreffen wurden im Juli die Arbeiten für das Vorhaben geplant und Absprachen zur Arbeitsorganisation getroffen sowie im November erste Ergebnisse ausgetauscht und die Präsentation des Projekts und erster Ergebnisse im Rahmen einer Posterpräsentation bei den Tagen der Standortauswahl der BGE mbH vorbereitet. Die Literaturrecherchen zu den Entsorgungsschritten, die im Rahmen des Wegemanagements zu untersuchen sind, wurden im zweiten Halbjahr 2019 vorangetrieben. Dazu wurden u. a. die Entsorgungsschritte von der Zwischenlagerung bis zur Endlagerung hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von Entscheidungen analysiert und Optionen dafür und die daraus folgenden Konsequenzen ausgearbeitet. Mit der Dokumentation der Zwischenergebnisse wurde begonnen.

AP2: Eine Systematisierung des Baukastens zur Szenarientwicklung ist in Arbeit. Es wurden Planungen zur Umsetzung der Szenarientwicklung in AP2 aufgenommen und die Übertragbarkeit der FEP-Methodik auf das Wegemanagement erörtert. Verzahnungen und Abhängigkeiten zwischen den AP1 bis 3, die während des Projektfortschritts zu berücksichtigen sind, wurden identifiziert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Berichtszeitraum 1/2020 sind gemäß dem Projektzeitplan folgende Arbeiten geplant:

- Abschluss der Arbeiten zu AP1 inklusive Dokumentation der Ergebnisse
- Durchführung der Arbeiten zu AP2, Szenarientwicklung
- Beginn der Arbeiten zu AP3
- Planung des in AP4 vorgesehenen Stakeholder-Workshops bis zum Ende des ersten Quartals 2020

5. Berichte, Veröffentlichungen

Chaudry S., Spieth-Achtnich G., Bollingerfehr W. (2019): Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA). In: Bundesgesellschaft für Endlagerung (2019): Tage der Standortauswahl, Tagungsband. Abstract zur Posterpräsentation

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe		Förderkennzeichen: 02 E 11799A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.5		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2023	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.028.008,00 EUR	Projektleiter: Dr. Emmerich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Sandwich-Hauptprojekt wird im Felslabor Mont Terri (CH) ein großmaßstäbliches In-situ-Experiment zu einem vertikalen hydraulischen Verschlussystem nach dem Sandwich-Prinzip umgesetzt. Die umfangreiche Vorplanung dazu wurde im Sandwich-Vorprojekt (02 E 11587A, 02 E 11587B) durchgeführt. Ebenso wie das Vorprojekt ist Sandwich-HP ein Verbundprojekt von GRS und KIT mit Beteiligung der internationalen Partner BGR, Swisstopo, Enresa, NWMO, RWM und ENSI. Die Projektleitung liegt bei der GRS.

Das von KIT entwickelte Sandwich-System besteht aus Wechsellagen von Bentonit-Dichtsegmenten (DS) und hydraulisch leitenden Potentialausgleichsschichten (Äquipotenzialsegmente – ES). Im Sandwich-HP werden solche Dichtsystem in zwei vertikalen Experimentalschächten von 1.2 m Durchmesser und 12 m bzw. 10 m Tiefe eingebaut. Die Dichtsysteme werden über Druckkammern im Schachttiefsten mit synthetischem Opalinuston-Porenwasser aufgesättigt, das jeweils über geneigte Zuleitungsbohrlöcher zugeführt wird. Die Schächte und das umgebende Gebirge werden zur Überwachung des Gesamtsystems intensiv instrumentiert. Die Versuchsziele umfassen die Demonstration der Einbautechnik, die Untersuchung des Aufsättigungsprozesses, die Qualifizierung der Mess- und Überwachungstechnik, die Bewertung der Wirksamkeit des Sandwich-Verschlussystems.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Finalisierung Testplan
- AP2: Instrumentierung Opalinuston und Probennahme Opalinuston
- AP3: Erstellung Experimentalschächte und Charakterisierung EDZ
- AP4: Installation Sandwichverschluss und Instrumentierung einschließlich EDZ
- AP5: Betrieb, Monitoring, Datenvalidierung, Auswertung und Interpretation
- AP6: Laboruntersuchungen und Materialparametrisierung
- AP7: Assessment und Modellierung
- AP8: Dokumentation und Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der im Rahmen des Vorprojekts erstellte Testplan muss noch in einigen Punkten verfeinert werden. Dazu gehören Details zum mechanischen Widerlager, zur Aufsättigungsanlage und zur Druckkammer sowie zu den DS und ES Materialien. Entsprechende Angebote/Informationen liegen inzwischen vor und werden integriert.
- AP2: Siehe Projektstatusbericht der GRS zu 02 E 11799B.
- AP3: Die Erstellung der Schächte erfolgt im Bohrverfahren und ist für April bis Juni 2020 geplant.
- AP4: Für den Einbautest bei Amberg wurden kompaktierte Bentonitkissen und Zwickelfüllmaterial durch den Auftragnehmer SSG hergestellt und geliefert. Material aus derselben Charge wurde für den Halbtechnikversuch 7 (HTV-7) im AP6 verwendet. Die Auslegung der Druckkammer wurde detailliert ausgearbeitet. Ergebnisse fließen in AP1 ein.
- AP6: Mineralogisch/chemische Analysen der Ausbauproben HTV-6 wurden mit der Probenaufbereitung begonnen. Die MiniSandwichversuche Nr. 9 und 10 sowie Nr. 5 werden kontinuierlich überwacht und das austretende Fluid wurde chemisch analysiert. Es ist noch kein chemisches Gleichgewicht erreicht. Ebenso sind immer noch Änderungen im aufgenommenen Fluidvolumen zu beobachten, was auf nicht abgeschlossene Gefügeumordnungen durch Quellung hinweist. Das Material für die MiniSandwichversuche Nr. 11 und 12 wurde durch Einstellung des Hydratationszustandes des Bentonits vorbereitet. Der HTV-7 mit Calcigel und Pearson water wurde mit TDR und Drucksensoren installiert und gestartet. Zusätzlich wurde das für den In-situ-Versuch geplante Back-up hydration system simuliert. Der Test wurde mit dem Teilbefüllen der ES1 und ES2 erfolgreich durchgeführt. Es wurden Herstellungsbedingungen und QM Maßnahmen für das binäre Bentonitgemisch für das In-situ-Experiment erarbeitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Vervollständigung des Testplans mit den vorliegenden Informationen (01-02, 2020)
- AP3, AP4: Schachtabteufung (04-06, 2020) und Verschlussinstallation (06-08, 2020)
- AP5: Betrieb (ab 09, 2020)
- AP6: Mineralogisch/chemische Charakterisierung der Ausbauproben HTV-6 (01-06, 2020); Durchführung MiniSandwich Nr. 11 und 12 (Calcigel mit Pearson water und kontrollierter Quellhebung) (ab 01, 2020), QM der DS/ES Materialien während der Verschlussinstallation
- AP7: Fortsetzung der im Sandwich-VP begonnenen hydraulisch-mechanischen Simulationsrechnungen der Laborversuche (ab 03, 2020)
- AP8: Ergebnisse des AP6 werden beim Technical Meeting im Januar in Porrentruy auf einem Poster vorgestellt. Beiträge zu den angestrebten Präsentationen bei der 8. International Clay Conference in Nancy und bei der EGU-Konferenz in Wien werden bereitgestellt

5. Berichte, Veröffentlichungen

Katja Emmerich et al. (2019): Fluid propagation, swelling pressure and cation exchange in sandwich sealing system. Vortrag GeoMünster

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11799B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.5		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2023	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.333.840,00 EUR	Projektleiter: Wieczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Sandwich-Hauptprojekt wird im Felslabor Mont Terri (CH) ein großmaßstäbliches In-situ-Experiment zu einem vertikalen hydraulischen Verschlussystem nach dem Sandwich-Prinzip umgesetzt. Die umfangreiche Vorplanung dazu wurde im Sandwich-Vorprojekt (02 E 11587A und 02 E 11587B) durchgeführt. Ebenso wie das Vorprojekt ist Sandwich-HP ein Verbundprojekt von GRS und KIT mit Beteiligung der internationalen Partner BGR, Swisstopo, Enresa, NWMO, RWM und ENSI. Die Projektleitung liegt bei der GRS.

Das von KIT entwickelte Sandwich-System besteht aus Wechsellagen von Bentonit-Dichtsegmenten (DS) und hydraulisch leitenden Potentialausgleichsschichten (Äquipotenzialsegmente – ES). Im Sandwich-HP werden solche Dichtsystem in zwei vertikalen Experimentalschächten von 1.2 m Durchmesser und 12 m bzw. 10 m Tiefe eingebaut. Die Dichtsysteme werden über Druckkammern im Schachttiefsten mit synthetischem Opalinuston-Porenwasser aufgesättigt, das jeweils über geneigte Zuleitungsbohrlöcher zugeführt wird. Die Schächte und das umgebende Gebirge werden zur Überwachung des Gesamtsystems intensiv instrumentiert. Die Versuchsziele umfassen die Demonstration der Einbautechnik, die Untersuchung des Aufsättigungsprozesses, die Qualifizierung der Mess- und Überwachungstechnik, die Bewertung der Wirksamkeit des Sandwich-Verschlussystems.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Finalisierung Testplan
- AP2: Instrumentierung Opalinuston und Probennahme Opalinuston
- AP3: Erstellung Experimentalschächte und Charakterisierung EDZ
- AP4: Installation Sandwichverschluss und Instrumentierung einschließlich EDZ
- AP5: Betrieb, Monitoring, Datenvalidierung, Auswertung und Interpretation
- AP6: Laboruntersuchungen und Materialparametrisierung
- AP7: Assessment und Modellierung
- AP8: Dokumentation und Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der im Rahmen des Vorprojekts erstellte Testplan muss noch in einigen Punkten verfeinert werden. Dazu gehören Details zum mechanischen Widerlager, zur Aufsättigungsanlage und zur Druckkammer. Entsprechende Angebote/Informationen liegen inzwischen vor und werden integriert.
- AP2: Die Instrumentierung des Tonsteins in der Umgebung der zukünftigen Schächte wurde von BGR und GRS durchgeführt. Sie umfasst Minipiezometer zur Porendruckmessung und Spannungsmonitorstationen in Bohrlöchern sowie zusätzliche verrohrte Bohrungen für seismische und ERT-Messungen. Ein Teil der Minipiezometer wird noch im Januar 2020 eingebaut, die übrige Instrumentierung ist vollständig. Vor dem Abteufen der Schächte sind von der BGR noch Überbohrversuche zur Spannungsbestimmung geplant.
- AP3: Die Erstellung der Schächte erfolgt im Bohrverfahren und ist für April bis Juni 2020 geplant.
- AP4: Die Installation der Verschlussmaterialien und der eingebetteten Instrumentierung erfolgt nach der Schachtabteufung. Beim Auftragnehmer Amberg ist ein Test in einem vertikalen Großrohr aus Kunststoff mit dem gleichen Durchmesser (1.2 m) in Vorbereitung, um die Materialeinbringung und Instrumentierung zu trainieren, notwendige Zeiten abzuschätzen und Schwierigkeiten vorab zu identifizieren.
- AP6: Siehe Projektstatusbericht des KIT zu 02 E 11799A.
- AP8: Das Sandwich-HP wird beim Technical Meeting im Januar in Porrentruy vorgestellt. Präsentationen bei der 8. International Clay Conference in Nancy und bei der EGU-Konferenz in Wien werden angestrebt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Vervollständigung des Testplans mit den vorliegenden Informationen (01-02/2020)
- AP2: Abschluss der Gebirgsinstrumentierung (01/2020)
- AP3, AP4: Schachtabteufung (04-06/2020) und Verschlussinstallation (06-08/2020)
- AP5: Betrieb (ab 09/2020)
- AP7: Fortsetzung der im Sandwich-VP begonnenen hydraulisch-mechanischen Simulationsrechnungen mit einem entsprechend der endgültigen Auslegung aktualisierten Modell (ab 03/2020)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11809A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 384.700,00 EUR	Projektleiter: Schneider	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit d^{3f++} steht ein Werkzeug zur Modellierung der thermohalinen Grundwasserströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse und geklüftete Medien zur Verfügung, das seit 1995 im Rahmen der BMWi-geförderten Vorhaben GRUPRO, TRAPRO, E-DuR, A-DuR, H-DuR und GRUSS entwickelt wurde. Derzeit wird es im Rahmen der Projekte SUSE, SMILE, ANSICHT-II und go-CAM auf endlagerrelevante und weitere Fragestellungen angewendet. Ziel von HYMNE sind die Erweiterung und Verbesserung der Anwendbarkeit von d^{3f++} auf Modelle mit freier Grundwasseroberfläche im Sedimentgestein und im Kristallin und eine Erhöhung der Prognosesicherheit. Teilziele sind die Erweiterung auf die Simulation der Grundwasserbewegung unter Permafrostbedingungen, eine Automatisierung der Modellkalibrierung, numerische Verbesserungen sowie Test und Anwendung des Codes. Die Bearbeitung erfolgt in Kooperation mit der Universität Frankfurt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

- AP1: Erweiterung der Anwendbarkeit
- AP1.1: Kalibrierung (Anforderungen, begleitende Arbeiten)
- AP1.2: Kopplung mit Vorflutern (Konzept)
- AP1.4: Technische Verbesserungen (Konzepte)
- AP2: Grundwasserbewegung unter Permafrostbedingungen (Konzepte)
- AP4: Anwendungsrechnungen
- AP4.1: Äspö site descriptive model (SDM)
- AP4.2: Kraví Hora
- AP4.3: INTERFROST
- AP5: Wartung des Codes (Unterauftrag)
- AP6: Projektleitung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1.1: Eine erste 2D Version des Kalibrierungswerkzeuges wurde durch das G-CSC entwickelt, GRS unterstützte konzeptionell und mit Anwendungsbeispielen.
- AP1.2: Die Anforderungen an die Vorfluter-Kopplung wurden beschrieben und Recherchen zu existierenden Vorflutermodellen sowie ihrer Funktionsweise durchgeführt. Bisher wurde kein optimal geeignetes Modell gefunden. Im Falle einer Eigenentwicklung wären die zu lösenden Gleichungen keine große Herausforderung, als schwieriger und aufwändiger wird die Implementierung der Infrastruktur für das Datenmanagement eingeschätzt.
- AP2: Die in den Gleichungen in d^{3f++} erforderlichen Modifikationen zur Simulation von einfrierenden/auftauenden Böden wurden zusammengestellt.
- AP4.1: Teilnahme am Topical Workshop (Modelling based on Äspö data) in Schweden am 4.-6.11.2019. Es wurden aktuelle Ergebnisse des 2D und 3D SDM vorgestellt und mit den Kollegen aus Japan (NUMO, Obayashi) und Schweden (SKB, SKB International) diskutiert. Neue Erkenntnisse zur hydraulischen Relevanz von Deformations-/Störungszonen wurden ausgetauscht und der weitere Datenaustausch als Grundlage für die Rand- und Anfangsbedingungen des erweiterten Grundwassermodells festgelegt.
Mit der Erweiterung des im Projekt GRUSS erstellten SDM-Modells wurde begonnen.
- AP4.2: Teilnahme am GRS-SÚRAO-Meeting am 18./19.11.2019, Präsentation, Datenanfrage mündlich und schriftlich.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.1: Mit der Übertragung auf den 3D-Fall wird begonnen.
- AP1.2: Die Recherche wird weitergeführt und die Entscheidung „existierender Code oder Eigenentwicklung“ getroffen.
- AP4.1: Erweiterung des SDM-Modells um weitere Störungszonen, Aktualisierung der Anfangs- und Randbedingungen.
- AP4.2: Teilnahme am GRS-SÚRAO-Meeting am 2./3.3.2020, Datenakquise
- AP4.3: Die Arbeiten können erst nach Implementierung der modifizierten Gleichungen (AP2) beginnen.
- AP5: Der Unterauftrag wird zeitnah vergeben.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Theodor-W.-Adorno-Platz 1, 60323 Frankfurt am Main		Förderkennzeichen: 02 E 11809B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 166.577,00 EUR	Projektleiter: Lemke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist die Erweiterung und Verbesserung der Anwendbarkeit von d^{3f++} auf Modelle mit freier Grundwasseroberfläche im regionalen Maßstab im Sedimentgestein und im Kristallin sowie einer Erhöhung der Prognosesicherheit.

Da dem Antrag nicht in vollem Umfang entsprochen werden konnte, werden in Abstimmung mit dem Verbundpartner GRS in einer ersten Projektphase die Arbeitspakete AP2, AP3.1 und AP3.2 bearbeitet.

Teilziel 1 (abgebildet in AP2) ist die Erweiterung des Anwendungsbereiches auf die Modellierung der Grundwasserströmung unter Permafrostbedingungen. Teilziel 2 (abgebildet in AP3.1 und AP3.2) ist die Weiterentwicklung der Lösungsverfahren im Hinblick auf eine einfachere Nutzbarkeit. Die Verfahren bieten sehr viele Möglichkeiten. Um diese erfolgreich einzusetzen sind oft noch Experten nötig. Zur breiteren Nutzbarkeit, insbesondere in der Anwendung auf große Regionalmodelle, sollen die Robustheit der Verfahren erhöht und viele der Schritte, die bisher noch manuell durchgeführt werden, etwa in der Gitterverfeinerung, automatisiert werden. Diesem Ziel dient auch die Neustrukturierung der Software.

Die Ergebnisse werden zusammen mit den Projektpartnern verwertet. Die große Nutzergemeinde des Simulationssystems UG ist eine ausgezeichnete Plattform zur Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse.

Es erfolgt eine Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Braunschweig, und der Firma TechSim, Kieselbronn, als Unterauftragnehmerin der GRS.

Das Verbundprojekt ist ein Folgevorhaben der zwei BMWi-Projekte vom 01.03.2012 – 31.10.2015 (FKZ 02 E 11062) und vom 01.04.2016 – 31.07.2019 (FKZ 02 E 11476).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete vom G-CSC (Goethe-Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen) der Universität Frankfurt bearbeitet:

AP2: Grundwasserbewegung unter Permafrostbedingungen

AP3.1: Verbesserung der Robustheit der Löser durch hybride AMG-GMG Kombination

AP3.2: Softwareintegration und Neustrukturierung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Grundwasserbewegung unter Permafrostbedingungen
Es wurden Vorarbeiten durchgeführt.

AP3.1: Verbesserung der Robustheit der Löser durch hybride AMG-GMG Kombination

Es wurde begonnen, das in Stepniewski & Queisser, *Comput. Vis. Sci.*, 2020 (in Vorbereitung) vorgestellte Subdivision basierte geometrische Mehrgitterverfahren – SGMG – für die thermo-hydraulische Modellierung der Grundwasserströmung in d^3f^{++} zu erweitern und anzuwenden, um die Robustheit des linearen Löser zu gewährleisten. Mit Hilfe von Subdivision Verfahren aus der Computergraphik, zur Darstellung glatter Kurven, Oberflächen oder in jüngerer Zeit Volumen, ermöglicht die darin verwendete Verfeinerungsstrategie die Generierung robuster Mehrgitterhierarchien, die die Kondition der Steifigkeitsmatrix durch Optimierung der Elementqualitäten ausgehend von einem gegebenen Grobgitter verbessern.

Im Berichtszeitraum erfolgte eine Einarbeitung in den bestehenden d^3f^{++} Quellcode sowie in die zu Grunde liegenden Gebietsrepräsentationen. Im Austausch mit dem Projektpartner GRS wurde eine systematische Sichtung und Analyse bestehender Problemstellen in Bezug auf die Konvergenz des linearen Löser durchgeführt. Diese dient als Grundlage für eine konzeptionelle Ausarbeitung des weiteren Vorgehens.

AP3.2. Softwareintegration und Neustrukturierung

Der Code wurde gesichtet. Mit der Übertragung von Lua-Code in C++ wurde begonnen.

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 11819
Vorhabensbezeichnung: Mineralumwandlung und Sorption bei erhöhten Temperaturen in geklüfteten Kristallgesteinen und Barrierematerial (MUSE)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl, Feld 2.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2020	Berichtszeitraum: 01.08.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 569.333,50 EUR	Projektleiter: Dr. Flügge	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) vom Juli 2013 bzw. Mai 2017 regelt das Auswahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland. Dabei kommen grundsätzlich die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht. Im Rahmen der Forschungsvorhaben CHRISTA, KONEKD, CHRISTA-II, SUSE und UMB wurden bzw. werden einerseits verschiedene Fragestellungen bezüglich des technischen Konzepts und des Sicherheits- und Nachweiskonzepts für ein Endlager im Kristallingestein bearbeitet, und andererseits Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren als Funktion von Lösungszusammensetzung, Temperatur und mikrobieller Aktivität untersucht.

Basierend auf den genannten Arbeiten und in ihrer Fortführung soll in dem hier skizzierten Projekt MUSE (i) die Übertragbarkeit der mit der im Projekt SUSE entwickelten neuen Methode gewonnenen Sorptionsdaten überprüft und die Anwendbarkeit auf andere Kristallstandorte durch Erhebung einer Bandbreite von Sorptionsdaten im Kristallingestein getestet werden, (ii) eine Methode zur Untersuchung des Einflusses von erhöhten Temperaturen auf Mineralumwandlungen und Gasfreisetzung in Kluffüllungen entwickelt werden und (iii) Mechanismen der Bentonitumwandlung und Gasfreisetzung untersucht werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP1: Übertragbarkeit der normierten Verteilungskoeffizienten zwischen verschiedenen Kristallin-Standorten
- AP2: Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die Stabilität von Kluffüllungen
- AP3: Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die Stabilität von Bentoniten
- AP4: Dokumentation und Projektleitung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Übertragbarkeit der normierten Verteilungskoeffizienten zwischen verschiedenen Kristallin-Standorten:
Die Arbeiten in AP1 wurden noch nicht begonnen, da die im Vorhaben SUSE bearbeiteten Sorptionsexperimente an kristallinem Probenmaterial noch nicht abgeschlossen wurden.
- AP2: Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die Stabilität von Kluffüllungen:
Die im Vorhaben zu untersuchenden Kristallin-Proben vom Standort Yeniseysky wurden von IGEM RAN charakterisiert und mit μ -Tomographie untersucht. Die Ergebnisse wurden diskutiert und Kernabschnitte zur Beprobung und Bereitstellung von Probenmaterial an GRS ausgewählt. Die Vorbereitungen zur Versuchsdurchführung wurden begonnen.
- AP3: Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die Stabilität von Bentoniten:
Die Vorbereitungen zur Versuchsdurchführung zur Untersuchung der Calcit-Zersetzung und Freisetzung von CO₂ in Bentoniten bei erhöhten Temperaturen und des etwaigen Einflusses des Umgebungsdrucks auf die Reaktion wurden begonnen. Die Entwicklung eines Versuchsaufbaus zur Untersuchung des Quelldruckes und der Permeabilität von kompaktierten Bentoniten unter erhöhten Temperaturen und Drücken wurde durchgeführt. Die dabei einzusetzenden Druckreaktoren und Messzellen wurden entwickelt und gebaut bzw. mit einem 3D-Drucker hergestellt. Beim Einsatz mit synthetischer Lösung kam es jedoch zu deutlichen Korrosionserscheinungen am Druckreaktor, so dass eine Anpassung des Versuchsaufbaus vorgenommen wurde. Die entsprechenden Entwicklungsarbeiten im AP3 des Vorhabens wurden somit abgeschlossen. Die vorbereitenden Arbeiten zur Untersuchung der mineralogischen Zusammensetzung der Bentonite und der während der Versuche stattfindenden Mineralumwandlungen mit XRD-Analysen wurden begonnen.
- AP4: Dokumentation und Projektleitung:
Vorbereitung eines Projekttreffens mit IGEM RAN in Braunschweig; Kommunikation mit Projektpartnern und Beschaffung von Probenmaterial

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Vorbereitung der Sorptionsexperimente
- AP2: Weiterführung der Versuchsplanung; Beginn der Versuche mit Kristallin-Proben vom Standort Yeniseysky
- AP3: Weiterführung der Versuchsplanung; Beginn der Versuche mit vier russischen Bentoniten
- AP4: Durchführung eines Projekttreffens mit Partnern des IGEM RAN zur Diskussion der geplanten Laborexperimente am 05. und 06.02.2020 in Braunschweig, inkl. Bereitstellung von Probenmaterial; Beschaffung von Probenmaterial aus Südkorea, Tschechien und China.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 11829
Vorhabensbezeichnung: Tonsteinforschung im Felslabor Mont Terri ab Phase 25 (MonTe-25)	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl, Feld 2.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2020	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 129.650,00 EUR	Projektleiter: Czaikowski

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. Bisher konzentrieren sich die Untersuchungen der GRS im Untertagelabor Mont Terri auf das grundsätzliche THM-Verhalten von Tonstein und Tonstein-Buffer-Systemen. Mit der Entwicklung eines deutschen Endlagerkonzepts in Tonstein werden spezifische Experimente zum Systemverhalten notwendig. Soweit diese standortunabhängig sind, bietet die Durchführung im Felslabor Mont Terri Vorteile:

- Das Labor bietet eine vorhandene zuverlässige Infrastruktur
- Durch Zusammenarbeit mit interessierten Partnern werden Kosten verringert und der Erkenntnisgewinn erhöht

Die bisherigen Arbeiten in Mont Terri stellen sicher, dass

- Die nötige Erfahrung zur Durchführung, Auswertung und Interpretation von Experimenten vorhanden ist
- Erprobte Versuchstechniken zur Verfügung stehen
- Geeignete Modellierungstools zur Verfügung stehen

Vor diesem Hintergrund dient die Fortführung der Arbeiten zur Tonforschung in Mont Terri in den kommenden Phasen

- (1) der Erarbeitung eines fundierten Verständnisses der für die Systementwicklung wichtigen thermisch-hydraulisch-mechanischen (THM) Prozesse,
- (2) der Entwicklung qualifizierter Prozessmodelle durch Vergleich von Modellrechnungen mit Experimenten in situ und im Labor,
- (3) der Sammlung zuverlässiger Daten zum Materialverhalten zur Qualifikation der Prozessmodelle; dazu Entwicklung bzw. Verbesserung von Messmethoden und
- (4) dem Wissenserwerb durch die Zusammenarbeit mit internationalen Fachkollegen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: FE Experiment – Porendruckmessungen und Modellrechnungen als Beitrag zum Streckenlagerungsexperiment der NAGRA im 1:1 Maßstab
- AP2: HE-E Experiment – Weiterführung des im Rahmen des EU-Projekts PEBS aufgebauten Erhitzerversuchs im Mikrotunnel (mit NAGRA, ENRESA, BGR, Obayashi)
- AP3: DM-A Experiment – Langzeitverformungsmessung des Tonsteins in einem Bohrloch
- AP4: Keine Fortführung der Arbeiten zum SB-A Experiment
- AP5: Keine Fortführung der Arbeiten zum DB Experiment
- AP6: Auslagerung weiterführender Arbeiten zum LT-A Experiment in einer eigenen Vorhabensskizze
- AP7: Weiterentwicklung von VIRTUS für den Einsatz im Tonstein
- AP8: Mine-By Experiment (MB-A) in der sandigen Fazies (mit BGR und Swisstopo)
- AP9: CD-A Experiment in der sandigen Fazies (Konsortialführer BGR)
- AP10: Technical und Steering Meetings

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP9: Von der GRS wurden im September 12 Porendrucksensoren von der Gallery 2018 aus eingesetzt und in Betrieb genommen, um die hydraulischen Randbedingungen für die Modellierung und Interpretation zu liefern. Die Messergebnisse von BCD-A14 deuten auf eine Leckage hin. Die übrigen Messwerte neben den CD-A Nischen zeigen plausible Werte. Die Messsensoren unterhalb der Nischen zeigen Werte im Bereich des Atmosphärendrucks.

Die Entscheidung über den Zeitpunkt einer Installation derjenigen Porendrucksensoren, die von den Nischen aus in die Sohle eingebracht werden sollen, wurde daher auf das nächste Projektgespräch am Rande des Technical Meetings TM-38 im Januar 2020 verschoben. Abhängig von den Messwerten der bereits installierten Porendrucksensoren wird ggfs. auch die Lage der noch ausstehenden Porendrucksensoren angepasst.

AP10: Teilnahme am Steering Meeting im November 2019.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Messungen in den laufenden Experimenten
- Durchführung begleitender Modellierungen zu den laufenden Experimenten (unter Einsatz von VIRTUS)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: BGE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 11839	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Leitfadens zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein HAW Endlager in Salzformationen (RANGERS)			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2020		Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 20.000,00 EUR		Projektleiter: Kuate Simo	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geotechnische Barrieren für ein Endlager in Salzformationen wurden schon im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte behandelt. Im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben (VSG) wurde ein Nachweisverfahren für die Integrität von Verschlusselementen in einem HAW Endlager in steil-lagernden Salzformationen entwickelt. Im Projekt ELSA wurden Schachtverschlüsse für HAW-Endlager ausführlich behandelt. Erste Empfehlungen zur Planung und Ausführung von geotechnischen Barrieren wurden vom Arbeitskreis Salzmechanik der DGGT formuliert. Die BGE und BGE TECHNOLOGY entwickeln und bauen seit über zehn Jahren Strömungsbarrieren im Endlager Asse. Mittlerweile wurden 32 Strömungsbarrieren im Routinebetrieb gebaut. Ein Prototypabdichtbauwerk wurde von der BGE im realen Maßstab im Endlager Morsleben gebaut und wird gerade wissenschaftlich untersucht. Trotz umfangreichen Wissen und Erfahrung über geotechnischen Barrieren in Salzformationen, fehlt es an Regelwerke für eine qualitätsgesicherte Auslegung solcher Bauwerke für ein HAW-Endlager.

In Kollaboration mit SANDIA National Laboratories setzt sich BGE TECHNOLOGY im Vorhaben RANGERS zum Ziel, einen Leitfaden zu entwickeln, in dem das vorhandene Wissen und die gesammelte Erfahrung über geotechnische Barrieren im Salz in Deutschland und in den USA einfließen. Empfehlungen zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren basierend auf den Stand der Wissenschaft und Technik sind zu formulieren und ein Überblick über neuartige Konzepte, Baustoffe und Technologien, die den Stand der Technik von Morgen prägen werden, wird gegeben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP0: Organisation der Zusammenarbeit zwischen BGE TEC und SANDIA – Literaturrecherche zu geotechnischen Bauwerken im Salz
- AP1: Zusammenstellung des Standes der Wissenschaft und Technik bei der Planung und Bau von geotechnischen Barrieren für Endlager im Salz
- AP2: Herleitung und Zusammenstellung der Randbedingungen und Anforderungen
- AP3: Entwicklung des Leitfadens zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein HAW-Endlager in Salzformationen
- AP4: Nutzung des Leitfadens für die Auslegung und den Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein im FuE-Vorhaben KOSINA entwickelte generische Endlagerkonzepte
- AP5: Bewertung der Ergebnisse und Vergleich mit Erkenntnissen aus früheren Projekten
- AP6: Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP0: Die Arbeiten im Berichtszeitraum konzentrierten sich auf die Zusammenstellung der bestehenden Dokumentation zum Thema geotechnische Barrieren, die bei BGE und BGE TECHNOLOGY im Rahmen von verschiedenen Projekten entstanden sind. Das betrifft insbesondere die aktuellen Arbeiten zum Bau von Strömungsbarrieren in der Asse sowie die relevanten Verfahrensunterlagen zum Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers Morsleben. Aktuelle Entwicklungen bei BGE zur Stilllegung von ERAM wie die experimentellen Untersuchungen des In-situ-Versuchsbauwerks in ERAM wurden verfolgt. Die Sichtung der Dokumentation wurde durchgeführt und die Freigabe von internen Berichten zur Verwendung im Vorhaben RANGERS vorbereitet. Parallel dazu wurden bei SANDIA alle relevanten durchgeführten Arbeiten für die infrage kommenden Endlager für radioaktive Stoffen in den USA zusammengetragen. Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde ein erster Entwurf der Gliederung des Berichts zum Stand der Wissenschaft und Technik bei der Planung und beim Bau von geotechnischen Barrieren für Endlager im Salz erstellt. Dieser ist Gegenstand aktueller Abstimmungen zwischen BGE TEC und SANDIA.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die begonnene Literaturrecherche wird weitergeführt und dient als Grundlage für die Erstellung des Berichts zum Stand der Wissenschaft und Technik. Dieser Bericht wird im ersten Halbjahr 2020 verfasst.
- AP2: Die Grundlagen für die Arbeiten in AP3 und 4 werden zusammengestellt und mit SANDIA abgestimmt. Das betrifft die Bereitstellung von geologischen Modellen sowie die technischen Endlagerkonzepte aus KOSINA und in den USA. Die FEPs, die für den Nachweis der Barriere relevant sind, werden ausgewählt. Ein Überblick über die regulativen Normen für den Bau und den Nachweis von geotechnischen, bautechnischen sowie bergbaulichen Anlagen wird gegeben. Die Anforderungen aus der geltenden Gesetzeslage in Deutschland und in den USA zum Thema Endlagerung hochradioaktiver Stoffe in Bezug auf die geotechnischen Barrieren ist zu diskutieren. Weitere notwendige grundlegende Arbeiten werden basierend auf den Bericht zum Stand der Wissenschaft und Technik ausgesucht und erarbeitet.
- AP3: Die Entwicklung des Leitfadens beginnt mit der Auswahl aller notwendigen Elemente für das Design und den Bau von geotechnischen Barrieren in einem Endlager im Salz. Zu diesen Elementen gehören ein Sicherheitskonzept, die Herleitung von Lastfällen aus den FEP-Katalogen, die konstruktive Ausbildung der geotechnischen Elemente, die Baustoffe für die Barrieren oder die Erarbeitung eines Nachweiskonzepts. Weitere Elemente werden im Rahmen des Projekts ergänzt. Im Zusammenspiel mit den Arbeiten in den Arbeitspaketen 1 und 2 wird jedes Elements ausführlich behandelt und in den Leitfaden progressiv integriert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld	Förderkennzeichen: 02 E 11849A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt A	
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.252.433,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Röhlig

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden.

Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

Im TAP SAFE wird transdisziplinär untersucht, ob und inwieweit Sichtweisen von Nicht-Spezialisten nahelegen, das Konzept des Safety Case anzupassen oder weiterzuentwickeln, um so die Diskurs- und Beratungsfähigkeit zu verbessern. Das Institut für Endlagerforschung IELF koordiniert das TAP und bearbeitet mit weiteren Partnern die Module „Analyse“, „Synthese und Konzept“, „Transdisziplinäre Kommunikation und Auswertung“, „Ergebnisdarstellung von Modellrechnungen“ sowie „Berichterstattung und Empfehlungen“. Der Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik LfdG leistet Forschungsarbeiten in den Modulen „Transdisziplinäre Kommunikation und Auswertung“ und „Analyse des langzeitigen Systemverhaltens von Tiefenlagern“. Der Arbeitsschwerpunkt der risicare GmbH (im Unterauftrag) ist das Thema „Ungewissheiten“. In einem Verfahren, das die Rückholung eingelagerter Abfälle im Falle einer ungünstigen Entwicklung des Lagers vorsieht, muss man sich frühzeitig Gedanken machen über Monitoring-Strategien, Entscheidungswege, Entscheidungsträger und Verantwortlichkeiten. Dies ist Gegenstand des TAP TRUST, in dem der LfdG zu Fragen des Monitorings forscht.

Das IELF koordiniert gemeinsam mit dem ITAS das Verbundvorhaben sowie die Außenkommunikation.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Nachfolgend werden die Arbeitsinhalte für das gesamte Verbundvorhaben dargestellt. Zur Zuordnung der Arbeiten zu den Vorhabenspartnern wird auf die Vorhabenbeschreibung verwiesen.

Modul SAFE 1: Analyse: Desk research; Literaturstudie zu Ungewissheiten; Zusammenstellung zu Szenarien; Zusammenstellung von Botschaften und Informationen sowie deren Darstellungen (Indikatoren, Abbildungen)

Modul SAFE 2: Synthese und Konzept: Synthese Modul 1: Gemeinsamkeiten, Schnittmengen; Konzepte und Wahrnehmung von Ungewissheiten; Methodisches Konzept für eine fokussierte empirische Untersuchung

Modul SAFE 3: Transdisziplinäre Kommunikation und Auswertung

Modul SAFE 4: Ergebnisdarstellung von Modellrechnungen, Indikatoren, Ungewissheiten

Modul SAFE 5: Analyse des langzeitigen Systemverhaltens von Tiefenlagern

Modul SAFE 7: Lösungsorientierte Berichterstattung und Empfehlungen

Modul TRUST 4: Analyse des Tiefen-/Endlagerverhaltens im Monitoringzeitraum anhand von numerischen TH2M-gekoppelten Simulationen: Literaturanalyse; Interaktiver Aufbau einer Gesprächsbasis mit der AGBe; Exemplarische Analyse des offenen/versetzten Tiefen-/Endlagerverhaltens im Monitoringzeitraum anhand von numerischen TH2M-gekoppelten Simulationen; Diskursiver Dialog mit der AGBe zur Identifizierung von Anforderungen an die Ausgestaltung von als vertrauenswürdig angesehenen Monitoringprogrammen; Rückspiegelung an außerwissenschaftliche Akteure/AGBe; Aufbau einer Plattform zur Visualisierung und Illustration von Simulationsergebnissen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

LfdG:

Im Hinblick auf die transdisziplinäre Ausrichtung des Forschungsvorhabens TRANSENS ist eine Masterarbeit angefertigt worden mit der Zielsetzung, für den Dialogprozess mit der AGBe ein erstes didaktisches Konzept zur Präsentation endlagerrelevanter Inhalte und numerischer Simulationen zum Systemverhalten auf einer Webseite zu entwickeln und eine Prototyp-Webseite zu entwerfen.

Mit Datum 15.11.2019 wurde ein Bearbeiter für die TAP SAFE und TRUST eingestellt. Seit Beginn der Bearbeitung des Projektes TRANSENS wird am Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik ein verbessertes generisches Referenzendlagermodell aufgebaut. Das neu entwickelte und realitätsnäher konzipierte generische Referenzendlagermodell stellt die Grundlage für die zukünftig durchzuführenden multiphysikalischen Simulationen im Hinblick auf die Analyse sicherheitstechnischer Aspekte sowie die monitoringorientierte webbasierte Visualisierung von Zustandsgrößen im Endlagersystem dar. Des Weiteren wurde sich ins Thema eingearbeitet.

IELF:

Mit Datum 01.11.2019 ist eine Projektkoordinatorin für TRANSENS eingestellt worden. In den ersten beiden Monaten hat diese sich in ihr neues Aufgabengebiet eingearbeitet. Zudem hat sie die Organisation des ersten Teamleiter-Meetings (05.11.2019 in Frankfurt) übernommen, das erste TAP SAFE-Meeting (06.11.2019 in Darmstadt) vorbereitet und dokumentiert sowie das Kick-Off-Meeting (15.–17.01.2020 in Goslar) geplant und organisatorisch betreut.

Im Rahmen der Durchführung des Teamleiter-Meetings und des TAP SAFE-Meetings wurden erste Schnittstellen identifiziert und das weitere Vorgehen verabredet. Außerdem wurden erste Anpassungen des Arbeitsplans vorgenommen.

Mit dem Datum 01.12.2019 hat ein Sachbearbeiter für das TAP SAFE seine Arbeit begonnen. Innerhalb des Forschungsvorhabens wird er eine Dissertation zu den Möglichkeiten und Grenzen eines transdisziplinären Ansatzes zur Weiterentwicklung des Safety Case im Kontext der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle anfertigen. Im Rahmen des Moduls SAFE 1 wurde eine Literaturstudie begonnen.

Im November 2019 wurden drei Stellenausschreibungen vorgenommen:

- Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in für wissenschaftliche Koordination
- Koordinator/in für Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit
- Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in zur Softwareentwicklung.

Die Vorstellungsgespräche (außer für Softwareentwicklung) haben Anfang Januar stattgefunden.

risicare:

risicare arbeitete an der Literaturstudie „Ungewissheiten“ zu Modul 1 im TAP SAFE. Bis Ende 2019 lag der Schwerpunkt auf Recherchen und Analysen zum Umgang mit Ungewissheiten in Safety Cases, die in den letzten zehn Jahren international durchgeführt wurden sowie beim unbeabsichtigten menschlichen Eindringen in ein Endlager als Beispiel für durch menschliche Aktivitäten bedingte Ungewissheiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der ersten Jahreshälfte von 2020 erfolgt die Einarbeitungsphase der neuen Mitarbeiter in das Projekt. Bereits eingestellte Mitarbeiter werden sich weiter einarbeiten, um so zeitnah erste Ergebnisse liefern zu können. Insbesondere werden die ersten TD-Formate vorbereitet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Christian-Albrecht-Platz 4, 24118 Kiel		Förderkennzeichen: 02 E 11849B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.375.945,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Ott	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden.

Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

Die Antragstellenden der CAU sind Projektpartner im TAP DIPRO.

Dialog und Diskurs sind Schlüssel zur Verständigung. Wie muss der langwierige Prozess gestaltet werden, um dafür gute Bedingungen auf dem Entsorgungspfad zu schaffen? Das ist Gegenstand der transdisziplinären Forschung im TAP DIPRO.

Am Philosophischen Seminar und am Institut für Informatik werden in interdisziplinärer Kooperation (i) Narrative des Entsorgungsdiskurses analysiert, (ii) eine Theorie von "wicked communication" entwickelt, (iii) gesellschaftliche Steuerungsmedien bewertet, (iv) Nachvollziehbarkeit und Transparenz des Entsorgungsprozesses wissenschaftstheoretisch untersucht und über Visualisierungen für den transdisziplinären Forschungsmodus aufbereitet, unterstützend wird hierzu (v) eine Multimediawerkstatt aufgebaut.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm in DIPRO zeichnet sich durch eine disziplinäre Aufbereitung von Sachverhalten, die interdisziplinäre Verständigung darüber und im Kern der Forschungsarbeit durch Workshops aus, bei denen verschiedene transdisziplinäre Formate entsprechend der Themensetzung zur Anwendung kommen werden. Im ersten Projektjahr soll zudem eine eigens für DIPRO gebildete Begleitgruppe aus wenigen Laien eingesetzt werden, die die Gestaltung und die Inhalte der Workshops über die Projektlaufzeit hin reflektiert. Die zentralen Forschungsfragen, die DIPRO an die Begleitgruppe und die Workshops stellt, sind:

1. Welche normativen Voraussetzungen, praktischen Anforderungen und gesellschaftlichen Erwartungen gilt es, für ein gerechtes und resilientes Verfahren und den jeweiligen Entsorgungspfad zu berücksichtigen? 2. Welche gesellschaftlichen Erwartungen und Ansprüche an eine zielführende End-lager-Governance und Öffentlichkeitsbeteiligung lassen sich identifizieren und wie können diese in politische Maßnahmen einfließen?

3. Wie ist das Standortauswahlverfahren unter Bedingungen von „wicked problems“ und „wicked communication“ im Sinne von „good governance“ auszugestalten?

Neben anwendungsorientierter Grundlagenforschung (desk-research, Experimente) bestehen die wesentlichen Arbeitspunkte des Kieler Teilprojektes in der Entwicklung, Durchführung und Evaluation

transdisziplinärer Formate (Workshops, Multimediawerkstatt, Informationsdesigns). Inhaltliche Schwerpunkte liegen auf Verfahrensgerechtigkeit, Kommunikation und Standortverantwortung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Projektbeginn: Teamleiter-Sitzung FFM November 2019; DIPRO-Treffen Darmstadt November 2019
- Kurzdarstellung des Erkenntnisinteresses
- Stellenbesetzung: Ausschreibung der Stellen wiss. Mitarbeiter*innen; Besetzung Moritz Riemann zum 01.12.2019; andere Verfahren laufen
- Kick-Off Meeting Goslar Januar 2020; Erstellung Arbeitsplan und wiss. Poster zu den geplanten Arbeiten

4. Geplante Weiterarbeiten

- 1. Workshop zu Transdisziplinarität an der FU Berlin 6./7. Mai 2020
- 2. Workshop zum Wicked Problem in Berlin, November 2020
- Auswertung aktueller und einschlägiger Literatur zu TD; Vorbereitung der TD-Inhalte
- Einrichtung Multimedia-Werkstatt

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Freie Universität Berlin, Kaiserswerther Str. 16-18, 14195 Berlin		Förderkennzeichen: 02 E 11849C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 991.894,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brunnengräber	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS wird transdisziplinär geforscht: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP), eingebunden. Die Analyse der transdisziplinären Forschungsaktivitäten soll Hinweise liefern, wie die Kommunikation zwischen Wissenschaft und den Beteiligten des Standortauswahlverfahrens und der Bevölkerung verbessert werden kann. Spezielle Aktivitäten zielen auf Aus- und Weiterbildung sowie auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die FU Berlin ist zentral am TAP DIPRO beteiligt: Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance.

Untersucht werden in interdisziplinärer Kooperation und mittels transdisziplinärer Formate:

- (1) Narrative und Frames der Entsorgungsdiskurse/wicked communication,
- (2) Charakteristika von wicked problems aus dialogischer Perspektive,
- (3) Wissensbestände und vertrauensbildende Wissensaufbereitung und –vermittlung sowie
- (4) Formen und Medien der Regulierung.

Die FU Berlin ist zudem in die Transdisziplinäre Begleitung eingebunden (TD-Begleitung). Hier erfolgt die formative und reflektierende Begleitung der TAP-Forschenden und der am Forschungsprozess beteiligten Öffentlichkeit wie der außerakademischen Akteure.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Einstellung des wissenschaftlichen Mitarbeiters
- Ausschreibung der Stelle eines studentischen Mitarbeiters*in - Auswahlgespräche
- Vorbereitung und Teilnahme am internen Projektstart in Frankfurt a.M. (6.11.19) und am ersten DIPRO-Treffen in Darmstadt (7.11.19)
- Sichtung aktueller Literatur zur Transdisziplinaritätsforschung und Erstellung eines Flyers zur TD-Begleitgruppe (im Entwurf - in Kooperation mit ETH Zürich und KIT)
- Treffen mit den Partnern der TU Berlin zur Vorbereitung der beiden Workshops in 2020 (an der TU Berlin, 11.12.2019)
- Vorbereitung des Kick-off von TRANSENS in Goslar im Januar 2020 (Vortragsfolien, Plakat, interne Teilprojektbeschreibung)
- Telefonkonferenz zur Abstimmung mit DIPRO-Partnern
- Teilnahme an BfE-Statuskonferenz (14. und 15.11.19)

4. Geplante Weiterarbeiten

- Vorbereitung der Workshops A) und B) in Kooperation mit der TU Berlin
- Durchführung des Workshop A) Interdisziplinäre, interne Verständigung mit externer Fachexpertise (am 6. und 7. Mai 2020 an der TU Berlin)
Begriffsarbeit: Gerechtigkeit, Akzeptanz, Akzeptabilität, Resilienz, Regulierung und Governance
- Durchführung des Workshop B) Zum wicked problem der Endlagerung – aus gesellschaftlicher Perspektive (Termin und Ort noch offen)
- Inhaltliche Abstimmung mit den DIPRO-Partnern
- Konkretisierung des inhaltlichen Profils einer Promotionsstelle - Ausschreibung
- Fertigstellung des Flyers der TD-Begleitgruppe

5. Berichte, Veröffentlichungen

Häfner, Daniel (2019): Partizipation rückwärts? Zur Aufarbeitung der Konflikte im Bereich der Kernenergie, Kursbuch Bürgerbeteiligung #3, Berlin, S. 41-57

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11849D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 550.967,50 EUR	Projektleiter: Dr. Metz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland geforscht werden. Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden. Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Schwerpunkte der Arbeiten des KIT-INE liegen im Modul „Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung“ des TAP „Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren“ (HAFF).

Unsere Arbeiten gliedern sich in das

AP1: „Sicherung von Handlungsfähigkeit im Standortauswahlverfahren und der Betriebsphase“ und das

AP2: „Technische und verfahrenstechnische Komponenten von Entsorgungspfaden und deren Nebenfolgen“.

In diesem Modul werden von uns Fragestellungen überprüft, die im Kontext des Standortauswahlverfahrens für Wärme entwickelnde Abfälle hinsichtlich Reflexivität und Reversibilität des Verfahrens von besonderer Bedeutung sind. Hierzu werden Arbeiten zur Zwischenlagerung und Entwicklung von Tiefenlagersystemen unter Berücksichtigung der technischen Barrieren und deren Implikationen durchgeführt, wobei insbesondere die Verzahnung von Infrastruktur-, Strahlenschutz- und Betriebssicherheitsaspekten verschiedener Komponenten des Entsorgungspfads analysiert werden. Im weiteren Verlauf des Verbundvorhabens soll gemeinsam mit Partnern des TAP HAFF Haltepunkte definiert werden, an denen der jeweilige Sicherheitsstatus eines Entsorgungspfads überprüft und ein Dialog mit der Bevölkerung angestrebt wird.

Zusammenarbeit im Forschungsverbund TRANSENS: Das Arbeitspaket 2 „Technische und verfahrenstechnische Komponenten von Entsorgungspfaden und deren Nebenfolgen“ wird durch einen Mitarbeiter des KIT-INE geleitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auf Grundlage einschlägiger Fachliteratur und Veröffentlichungen wichtiger Akteure des aktuellen Entsorgungspfads für hochradioaktive Abfälle (Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit, BfE/BASE; Bundesgesellschaft für Endlagerung, BGE; Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung, BGZ; BGE-Technology) führten wir eine Präzisierung unserer Forschungsgegenstände, die Festlegung der zu untersuchenden Systemgrenzen und eine vorläufige Einrahmung der Thematik (*problem framing*) durch. Der Abschlussbericht der Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ (2016), das novellierte Standortauswahlgesetz (StandAG, 2017) und die neue Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV, Entwurf vom Herbst 2019) des BMU wurden zunächst für die Betrachtung (genehmigungs-)rechtlicher und institutioneller Entscheidungsgrundlagen herangezogen. Um sicherheitstechnische und infrastrukturelle Aspekte sowie Strahlenschutzaspekte unserer Untersuchungen zu präzisieren, nahm V. Metz an einem Symposium der BGZ zu trockenen Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle im November in Berlin teil. Ein erster bilateraler Austausch zu Fragen einer verlängerten Zwischenlagerung von Experten der BGZ mit V. Metz ist für Februar 2020 in der BGZ-Zentrale in Essen vereinbart.

Neben der Literaturrecherche und Sammlung von Informationen zur Zwischen- und Tiefenlagerung hochradioaktiver Abfälle beteiligten sich F. Becker und V. Metz aktiv an der Aus- und Weiterbildung in diesem Bereich: Im Dezember hielten F. Becker und V. Metz Vorträge zum Strahlenschutz und zum Verhalten von hochradioaktiven Abfällen in Oberflächen-Zwischenlagern bzw. in geplanten Tiefenlagern im Trainingsprogramm ANNETTE am KIT. V. Metz nahm am Treffen der TRANSENS-Teamleiter im November in Frankfurt teil.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Halbjahr ist neben der Teilnahme am TRANSENS-Auftakttreffen im Januar in Goslar und dem Treffen der Teamleiter im Juni in Karlsruhe die weitere Präzisierung der Forschungsfragen über Arbeitsgruppen und Thesenpapiere vorgesehen. In diesem Zusammenhang soll in Zusammenarbeit mit Prof. A. Grunwald (KIT-ITAS) und Prof. H. Geckeis (KIT-INE) das Konzept einer interdisziplinären Promotion erstellt werden. Die Auswahl, Einstellung und Einarbeitung einer/eines geeigneten Kandidatin/Kandidaten für die Promotionsstelle ist gemäß dem Projektantrag für Herbst 2020 geplant.

Für das erste Halbjahr 2020 sind außerdem folgende Arbeiten (von F. Becker und V. Metz) vorgesehen: Vertiefung unserer Literaturrecherche, erste Experteninterviews zu verschiedenen Aspekten der Entsorgungspfade (u. a. mit Vertretern von Anlagen zum Umgang mit hochradioaktiven Abfällen, anwendungsorientierten Forschungsinstitutionen) und Schreiben von Thesenpapieren zu Themen des Moduls „*Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung*“ mit den jeweiligen Partnerinstitutionen der Arbeitspakete.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 11849E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt E		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.720.831,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hocke-Bergler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland geforscht werden. Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden. Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die ITAS-Schwerpunkte liegen im TAP HAFF und im TAP DIPRO. Wir leisten Grundlagenforschung zu Fragen der Reversibilität und des gesellschaftlichen Dialogs, die im deutschen Standortauswahlverfahren eine besondere Rolle spielen.

TAP HAFF: „HANDlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren“ mit den Themen Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung, Raumwirkungen vor dem Hintergrund von Endlager-Governance sowie technische und verfahrenstechnische Komponenten von Entsorgungspfaden und deren Nebenfolgen.

TAP DIPRO: „Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance“, mit dem Thema Gerechtigkeit als Ausgangspunkt. Gerechtigkeitsfragen haben insbesondere bei Projekten wie der Standortsuche und der Realisierung eines Endlagers einen hohen gesellschaftlichen Stellenwert.

Zusammenarbeit im Forschungsverbund:

Mit dem TAP SAFE wird empirisch kooperiert.

Ebenso kooperiert ITAS im Rahmen der Transdisziplinaritätsforschung mit den TD-Experten innerhalb des Forschungsverbundes (I-TD und BegleitTeam.TD).

ITAS ist im Sprecherteam des Forschungsverbundes ebenso vertreten wie in der I-TD (2 Mitarbeiter). TAP HAFF und TAP DIPRO werden jeweils durch einen ITAS-Mitarbeiter geleitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

TAP HAFF: Um die Problemlage der Forschungsfrage zu präzisieren, setzte sich das ITAS-Team mit den einschlägigen Entscheidungsgrundlagen (StandAG Version 2017 und Bericht der Endlager-Kommission) ebenso auseinander wie mit der Fachliteratur zu einem stufenweisen, standortvergleichenden Standortauswahl-Verfahren, das durch Reversibilität und die Option der Rückholbarkeit charakterisiert ist und gleichzeitig Elemente substantieller Öffentlichkeitsbeteiligung und Wissenschaftsbasiertheit aufweist. Dazu wurde früh ein erstes Meeting der HAFF-Mitglieder und mehrere Telefonkonferenzen durchgeführt.

Erste literaturgestützte Absprachen und die Vorbereitung der Konzept-Entwicklung TD in HAFF sind angelaufen.

TAP DIPRO: Nach Besprechung der Art und Weise der gemeinsamen künftigen Zusammenarbeit und der Abgrenzung von DIPRO zum formalen Standortauswahlverfahren bei einem ersten Auftakttreffen in Darmstadt wurden vor allem die im Antrag vorgesehenen ersten Workshops in Telefonkonferenzen und am Rande des TRANSENS-Auftakttreffens in Goslar vorstrukturiert. Diskutiert wurden neue Tools medialer und digitaler Wissensvermittlung sowie die Auswertung von Vorarbeiten in ENTRIA durch neue TRANSENS-Teams im Sinne gemeinsamen Lernens.

Aus- und Weiterbildung: Etablierung eines Textseminars zu einschlägiger Forschungsliteratur.

Gesamtprojekt: Mitarbeit an der Konzept-Entwicklung Transdisziplinarität im Gesamtvorhaben und Entwicklung des Konzepts für das Kickoff-Meeting des Forschungsverbundes mit Auftraggeber, Gästen und gesamter Mitarbeiterschaft.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Präzisierung der Forschungsfrage im TAP HAFF über Arbeitsgruppen und Thesenpapiere
- Methodische Anbindung an die Gesamtstruktur des Vorhabens
- Festlegung des TD-Konzepts für DIPRO und HAFF sowie Mitarbeit bei der konzeptionellen Rahmung im Gesamtverbund
- Vorbereitung der Empirie zu Fragen der Verfahrensgestaltung und Sicherung der Handlungsfähigkeit (Umsetzung in Projektjahr 2ff)
- Mitarbeit bei der Analyse soziotechnischer Herausforderungen, die sich aus den Möglichkeiten der konkreten Ausgestaltung des Entsorgungspfades ergeben sowie Reflexion der daraus entstehenden Nebenfolgen in Perspektive der Technikfolgenabschätzung
- Auseinandersetzung über Schlüsselbegriffe der gemeinsamen Zusammenarbeit in DIPRO mit dem Ziel einer ersten gemeinsamen, kleinen Publikation
- Ausbau der Weiterbildungsaktivitäten um Thema TA und Governance, z. B. Vorträge im Trainingsprogramm ANNETTE (vgl. Vorträge Dez. 2019 am KIT)
- Betreuung interdisziplinärer Promotionen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Smeddinck, Ulrich (2019): „Sanfte Regulierung: Ressourcen der Konfliktlösung im Standortauswahlverfahren für ein Endlager“. Deutsches Verwaltungsblatt, 12, S. 744–751

Smeddinck, Ulrich (2019): „Die Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren – experimentell, resilient und partizipationsfähig?“, in: Kluth/Smeddinck 2019, S. 149–178

Smeddinck, Ulrich (Hrsg., zus. mit W. Kluth, 2019): „Bürgerpartizipation – neu gedacht“. Halle an der Saale, UVHW (Genossenschafts- und Kooperationsforschung, Bd. 5)

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 11849F
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt F		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 3.473.288,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Walther	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden. Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt. LUH IRS/IW und ETH Zürich tragen zu allen vier TAP bei: Flexibilität statt linearer Ablauf des Verfahrens: schrittweises Vorgehen, Haltepunkte im Verfahrensablauf, die Option von begründeten Rückschritten und die Reaktion auf neue Forschungsergebnisse sind die Themen der transdisziplinären Forschung im TAP HAFF. Dialog und Diskurs sind Schlüssel zur Verständigung. Wie muss der langwierige Prozess gestaltet werden, um dafür gute Bedingungen auf dem Entsorgungspfad zu schaffen? Das ist Gegenstand der transdisziplinären Forschung im TAP DIPRO. In einem Verfahren, das die Rückholung eingelagerter Abfälle im Falle einer ungünstigen Entwicklung des Lagers vorsieht, muss man sich frühzeitig Gedanken machen über Monitoring-Strategien, Entscheidungswege, Entscheidungsträger und Verantwortlichkeiten. Dies ist Gegenstand des TAP TRUST. Im TAP SAFE wird transdisziplinär untersucht, ob und inwieweit Sichtweisen von Nicht-Spezialisten nahelegen, das Konzept des Safety Case anzupassen oder weiterzuentwickeln, um so die Diskurs- und Beratungsfähigkeit zu verbessern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

IRS:

TAP TRUST: Modul 1: Übergreifender Rahmen des TAP TRUST und Leitung der AGBe
Modul 2: Transdisziplinäre Erarbeitung eines Programms zur Umweltüberwachung
TAP SAFE: Modul 6: Die Rolle der radioökologischen Modellierung im Safety Case
EDU: Aus- und Weiterbildung

IW:

TAP HAFF: Modul 1: Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung
Modul 2: Raumwirkungen und Governance
Modul 3: Konzeptionelle Grundlagen und Basisinformationen
TAP DIPRO: Workshop D: Darstellung technischer Randbedingungen
Workshop F: Transdisciplinarity meets reality – Lessons learned

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- IRS: TAP TRUST (Modul 1): In Vorbereitung der online-basierten Bevölkerungsumfrage zum Thema *Vertrauen* hat eine umfassende Literaturrecherche stattgefunden. Eine einheitliche Definition von Vertrauen liegt aufgrund unterschiedlicher konzeptioneller/disziplinärer Zugänge nicht vor. Um dennoch valide und vergleichbare Ergebnisse zu generieren, wurde auf Grundlage vorliegender sozialpsychologischer Konzepte ein Konzept zur Messung spezifischen Vertrauens entwickelt, auf Basis dessen die Konstruktion des Fragebogens erfolgte. Die Zusammenstellung geeigneter Themenblöcke, Items und Skalen wurde abgeschlossen. Hauptziele der Befragung: (i) Stand des Vertrauens in Politik, Behörden, Institutionen, (ii) Risiko/Chancenwahrnehmung bezogen auf Endlager, (iii) Beurteilung des Verfahrens, (Bedeutung von Transparenz, Prozessfairness etc.), (iv) Akquise der Teilnehmer/-innen für die AGBe; Vertrauen wird auf verschiedene Weise abgefragt: ohne offensichtlich zwischen Konfidenz und Vertrauen zu unterscheiden, soll doch berücksichtigt werden, dass soziales (interpersonelles) Vertrauen tatsächlich zwischen Personen stattfindet, während „Vertrauen“ in Institutionen konzeptuell eher der Konfidenz zuzurechnen ist. Bei letzterem geht es eher um Kompetenzzuschreibungen (u. a. Expertise, Reputation) sowie um Vertrauens- bzw. Glaubwürdigkeit. Mit Modul 2 (TAP TRUST) sowie Modul 6 (TAP SAFE) wurde noch nicht begonnen.
- IW: Im TAP HAFF und TAP DIPRO erfolgten Recherchen zu den Methoden transdisziplinärer Forschung und zu Fragen der Technikwissenschaften im Kontext transdisziplinärer Forschungsprozesse. Diese Vorbereitungen dienen zum einen der Begleitung der Entwicklungen in HAFF aus Sicht der Technikwissenschaft sowie zum anderen der Erarbeitung der Haltepunkte im Kontext des lernenden Rechts und soziotechnischer Fragestellungen im TAP DIR-PO.

4. Geplante Weiterarbeiten

- IRS: TAP TRUST (Modul 1): Die vorliegende Version des Fragebogens wird im nächsten Schritt innerhalb des TAP TRUST diskutiert und anschließend einem Pretest unterzogen. Im Zuge dieser Iteration erfolgt ggf. eine Überarbeitung sowie die Finalisierung des Fragebogens. Weiterhin gilt es Quoten zu definieren, anhand derer die Auswahl der Teilnehmer erfolgen soll, um ein repräsentatives Sample zu erhalten. Geplant ist eine Teilnahme von etwa 5000 Personen. Von den Teilnehmern der Umfrage werden ca. 50 Personen zu einem Telefoninterview eingeladen. Ziel dabei ist es, etwa 15 Personen für die Teilnahme an der geplanten AGBe zu akquirieren, um die Konstituierung derselben in die Wege zu leiten.
- EDU: Die Ausschreibung und Besetzung der diesbezüglich eingeplanten Stelle wird in Kürze erfolgen (umfasst zudem TAP SAFE, Modul 6).
- IW: Aufbereitung einer Wissensbasis zum Themenbereich technische Barriere zur Vorbereitung transdisziplinärer Wissensvermittlung unter dem Blickpunkt Komplexität/Vollständigkeit vs. Verständlichkeit/Vertrauen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V., Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg im Breisgau		Förderkennzeichen: 02 E 11849G
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt G		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 505.379,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brohmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in vier Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden. Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Weitere Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt. Die Expertise des Öko-Instituts wird insbesondere in die TAPs HAFF und SAFE einbezogen.

Das TAP HAFF fokussiert auf die Flexibilität des Verfahrens, die statt eines linearen Ablaufs, ein schrittweises Vorgehen ermöglicht, das Haltepunkte im Ablauf und die Option von Rückschritten sowie die Reaktion auf neue Forschungsergebnisse vorsieht. Das TAP SAFE fokussiert u. a. auf Fragen der Kommunikation und des Umgangs mit Ungewissheiten im Rahmen des Safety Case (SC). Dabei wird transdisziplinär untersucht, ob und inwieweit Sichtweisen von Nicht-Spezialisten nahelegen, das Konzept des SC anzupassen oder weiterzuentwickeln.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TAP HAFF: Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren

Das TAP gliedert sich in drei Module und beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- a) Literaturrecherche,
- b) Experten-Interviews zu Raumwirkungen von kerntechnischen Entsorgungsanlagen allgemein sowie zu Oberflächenanlagen des Schweizer Tiefenlagers,
- c) Leitfaden-Interviews zur Kriterienentwicklung für die Bewertung potenzieller Auswirkungen von Haltepunkten und Rückschritten,
- d) Analyse der Interviews: Katalog potenzieller Auswirkungen von Haltepunkten und Rückschritten sowie Kriterien der Bewertung; raum- und zeitbezogene Muster zur Entwicklung partizipativer Ausgestaltungsempfehlungen; Erfahrungen aus dem Schweizer Fall,
- e) Transdisziplinärer Workshop mit Stakeholdern und interessierter Öffentlichkeit zur Prüfung und Weiterentwicklung der konzeptionellen Ideen,
- f) Synthese der Ergebnisse und Entwicklung von Handlungsempfehlungen zum Umgang mit raumzeitlichen Spezifika unter Berücksichtigung von Haltepunkten und Rücksprüngen.

TAP SAFE: Stakeholder-Perspektiven und Transdisziplinarität

Das TAP gliedert sich in sieben Module, an vier Modulen ist das Öko-Institut beteiligt.

In SAFE 2 wird ein Beitrag zur methodischen Konzeption für die empirischen Untersuchungen des TAP mit transdisziplinärem Ansatz entwickelt. In SAFE 3 unterstützt das Öko-Institut mit

transdisziplinären Arbeiten die Erfassung von Akzeptabilitätskriterien für einen SC. Geplant sind Fachworkshops, Expertendialoge sowie Workshops mit Öffentlichkeit. SAFE 4 widmet sich der Ergebnisdarstellung und Vermittlung von Modellrechnungen unter Einbeziehung kommunikativer Anforderungen. SAFE 7 widmet sich der Auswertung und der Entwicklung von Empfehlungen der fortlaufenden Beobachtungen der Module 2, 3 und 4.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In den ersten Wochen des Vorhabenzeitraums wurden vor allem Arbeiten zur Abstimmung der verschiedenen Beteiligten sowohl im Gesamtvorhaben als auch in den einzelnen TAPs durchgeführt. Hierzu gehören die Teilnahme an vorbereitenden Treffen der Teamleiter sowie telefonische Absprachen mit den Sprecher*innen des Vorhabens. Das Kick-off Treffen in Goslar wurde intensiv vorbereitet, u. a. mit Poster- und PPT Präsentationen.

TAP HAFF: Im Rahmen von HAFF wurde an der dortigen Kick-off Veranstaltung in Karlsruhe teilgenommen, das Team vorgestellt und die geplanten Arbeiten diskutiert. Es wurde mit einzelnen Partnern eine TAP-übergreifende Zusammenarbeit diskutiert und vorbereitet.

TAP SAFE: Die Kick-off Veranstaltung für SAFE wurde in Darmstadt durchgeführt. Auch hier wurde das Team vorgestellt, die geplanten Arbeiten diskutiert und die Zusammenarbeit vorbereitet.

TAP DIPRO: Im Rahmen eines DIPRO Treffens gab das Öko-Institut einen inhaltlichen Input zu den Erfahrungen mit Unterrichtsmaterialien für die Schule und Vortragsveranstaltungen an Bildungsinstitutionen für Laien.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der offizielle Start des Verbundvorhabens erfolgt mit dem Kick-off Meeting vom 15.1. bis 17.1.20 in Goslar. Darüber hinaus sind weitere Arbeitstreffen und Workshops geplant. In den einzelnen Arbeitspaketen sind folgende Tätigkeiten vorgesehen:

TAP HAFF:

Modul 2: Beginn der Literaturrecherche und Vorbereitung der Experteninterviews (AP3); Abstimmung und Beginn der Arbeiten mit den Modul-Beteiligten

Modul 3: Bearbeitung des AP3 Fallstudie zu Oberflächenanlagen in der Schweiz in 2020

TAP SAFE

Abstimmungsgespräche und fachliche Begleitung der vorbereitenden Arbeiten der ersten Arbeitspakete

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin		Förderkennzeichen: 02 E 11849H
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt H		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 362.577,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. von Hirschhausen	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden.

Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert (Transdisziplinaritätsforschung). Spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

Dialog und Diskurs sind Schlüssel zur Verständigung. Wie muss der langwierige Prozess gestaltet werden, um dafür gute Bedingungen auf dem Entsorgungspfad zu schaffen? Das ist Gegenstand der transdisziplinären Forschung im TAP DIPRO.

Das Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik erarbeitet im TAP DIPRO auf der Grundlage disziplinärer und interdisziplinärer Forschung eine Bewertung der volkswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Organisationsmodellen bzw. Governance-Strukturen an der Schnittstelle zwischen den Prozessen des Rückbaus, der Lagerung und der Standortsuche. Unter Berücksichtigung ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse sollen mögliche Synergieeffekte und Hindernisse, die eventuell Verzögerungen oder Kostensteigerungen verursachen könnten, herausgearbeitet werden. Des Weiteren erarbeitet bzw. eruiert das Fachgebiet, basierend auf Wissen über monetäre und nicht-monetäre Anreizstrukturen, in Kooperation mit anderen Partnern verschiedene Kompensations-szenarien und gesellschaftliche Möglichkeiten distributiver Gerechtigkeit im Umgang mit Lasten- und Verantwortungsverteilung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm des TAP Dipro gliedert sich in drei Module, wovon ein Modul der wissenschaftlichen Vorbereitung und ein Modul der Synthese dient. Im Zentrum steht das Praxismodul mit einer Reihe aus drei Workshops für Teilnehmer aus dem nicht-akademischen Bereich, in denen jeweils unterschiedliche Aspekte von Gerechtigkeit, Recht und Governance behandelt werden. Bei der Workshop-Organisation wechseln sich die DIPRO-Partner ab. Alle Projektpartner (im TAP DIPRO) sind bei den Workshops vertreten.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Auftakttreffen Teamleiter am 06.11.2019 in Frankfurt
- Auftakttreffen DIPRO am 07.11.2019 in Darmstadt
- Literatursichtung und beginnende Auswertung zu den Themenkomplexen Kompensationszahlung, Gerechtigkeit
- Entwicklung von Flyer, Poster und Beschreibung der Aufgaben und Erkenntnisinteresse im TAP DIPRO
- „Tätigkeit 1 – Konzeptentwicklung Transdisziplinarität“ gestartet.
- Konzeptentwicklung Workshop A (Meilenstein 4) gestartet.
- Start der Vorbereitung von Workshop B (Meilenstein 7) in Kooperation mit FU Berlin
- Durchführung von zwei Telefonkonferenzen (DIPRO intern)
- Arbeits- und Organisationstreffen mit FU Berlin

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung Workshop A an der TU Berlin am 06/07. Mai 2020 in Verbindung mit Begleitgruppe TD
- Workshop A dient u. a. der Transdisziplinarität
- TUB-WIP wertet Literatur zu Kompensationszahlungen aus und kommentiert die Literatur am Anfang von Workshop A
- Durchführung Workshop B in Kooperation mit FU Berlin
- DIPRO Treffen im Rahmen des 24. REFORM Group Meeting in München
- TD Workshop in Karlsruhe (ITAS) im November 2020
- Erste Veröffentlichung geplant mit Arbeitstitel “Wem gehört der Atommüll?“ zu rechtlichen, ökonomischen und Gerechtigkeits-Fragestellungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Universitätsplatz 2, 38106 Braunschweig		Förderkennzeichen: 02 E 11849I
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt I		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.239.091,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Stahlmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Verbundvorhaben TRANSENS wird erstmalig in Deutschland transdisziplinäre Forschung zur nuklearen Entsorgung in größerem Maßstab betrieben. Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden:

- HAFF: Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren
- SAFE: Safety Case: Stakeholder-Perspektiven und Transdisziplinarität
- TRUST: Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen
- DIPRO: Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

In einem Verfahren, das die Rückholung eingelagerter Abfälle im Falle einer ungünstigen Entwicklung des Lagers vorsieht, muss man sich frühzeitig Gedanken machen über Monitoring-Strategien, Entscheidungswege, Entscheidungsträger und Verantwortlichkeiten. Dies ist Gegenstand des TAP TRUST.

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

Dialog und Diskurs sind Schlüssel zur Verständigung. Wie muss der langwierige Prozess gestaltet werden, um dafür gute Bedingungen auf dem Entsorgungspfad zu schaffen? Das ist Gegenstand der transdisziplinären Forschung im TAP DIPRO.

Das IGG der TU Braunschweig ist in TAP TRUST eingebunden und bearbeitet Fragestellungen zu Monitoring und zur Akzeptabilität von Ungewissheiten während der Beobachtungsphase und einer Rückholung.

Das iBMB der TU Braunschweig ist in den TAPs HAFF und DIPRO eingebunden und entwickelt und visualisiert dazu idealtypische Konzepte für obertägige Anlagen von Endlagern. Dabei wird der komplette Lebenszyklus der Bauwerke betrachtet. Wesentliches Element ist dabei ein lernfähiges Lebenszyklusmanagementsystem.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am IGG wurde mit der Bearbeitung der Fragestellung zur Rückholung und der Konsequenzen auf das begleitende Monitoring begonnen. Dafür wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Auf den von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) vom 12.-14.12.2019 in Braunschweig veranstalteten Fachtagung „Tage der Standortauswahl“ wurden die geotechnischen Konsequenzen einer Berücksichtigung der Rückholbarkeit und erste Fragestellungen zur Rückholung in einem Vortrag und das Arbeitsprogramm innerhalb von TRANSENS auf einem Poster präsentiert. Für die Weiterbildungsveranstaltung und das Modul „Tiefenlagerung“ wurde eine Übung zum Thema Vertrauen und Endlagerung konzipiert.

Eine Vorabstimmung im TAP HAFF fand am 30.07.2019 in Karlsruhe statt. Innerhalb des ersten Projektjahres sollen wichtige Weichenstellungen vor allem in Bezug auf die Ausgestaltung der transdisziplinären Elemente und Formate erfolgen. Am iBMB wurde mit der Analyse obertägiger Lagerungskonzepte begonnen. Erste Ergebnisse wurden auf den Tagen der Standortauswahl in Form eines Posters präsentiert.

Die Projektleiter trafen sich am 6.11.2019 in Frankfurt um die Arbeiten innerhalb des Projektes zu koordinieren und das erste Projekttreffen in Goslar vorzubereiten. Im Anschluss daran wurde auf einem Treffen des TAP TRUST das weitere Vorgehen zur geplanten Umfrage zum Thema Vertrauen Anfang 2020 beraten und abgesprochen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das im IGG erarbeitete Konzept zur Rückholung wird auf Grundlage der neuen Literatur weiterentwickelt. Es wird ein Diskussionspapier vorgestellt. Nach der Rekrutierung der Arbeitsgruppe Bevölkerungen aus den Teilnehmern der Umfrage, soll dieses mit ihr diskutiert werden und u. a. das Wirtsgestein für die detailliertere Arbeit im Projekt („Demonstrator“) bestimmt werden. Parallel dazu werden die für Ende 2020 vorgesehenen Experteninterviews vorbereitet.

Das iBMB beteiligt sich an der Ausgestaltung der TD-Elemente und entwickelt dazu parallel idealtypische Konzepte für obertägige Anlagen von Tiefenlagern bestehend aus Eingangslager mit Konditionierungsanlage sowie dessen Infrastruktur und der baulichen Transportinfrastruktur unter Tage.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Universität Kassel, Mönchebergstr. 19, 34125 Kassel		Förderkennzeichen: 02 E 11849J
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt J		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen, Feld 5.2		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2024	Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 327.569,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Sträter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In TRANSENS soll transdisziplinär geforscht werden: Die interessierte Öffentlichkeit und andere außerakademische Akteure werden planvoll in Forschungskontexte, konkret in vier Transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) eingebunden. Die Möglichkeiten transdisziplinärer Forschung in der nuklearen Entsorgung werden im Verbund systematisch reflektiert; spezielle Aktivitäten zielen auf Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt.

Im TAP HAFF soll Flexibilität statt ein linearer Ablauf des Verfahrens erarbeitet werden durch ein schrittweises Vorgehen, mit Haltepunkten im Verfahrensablauf, der Option von begründeten Rückschritten und Reaktion auf neue Forschungsergebnisse.

Im TAP SAFE wird untersucht, ob und inwieweit Sichtweisen von Nicht-Spezialisten nahelegen, das Konzept des Safety Case anzupassen oder weiterzuentwickeln, um so die Diskurs- und Beratungsfähigkeit zu verbessern. Weiterhin wird untersucht, ob und inwieweit Sichtweisen von Nicht-Spezialisten nahelegen, das Konzept des Safety Case anzupassen oder weiterzuentwickeln, um so die Diskurs- und Beratungsfähigkeit zu verbessern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie beteiligt sich insbesondere am TAP HAFF und TAP SAFE mit folgenden Arbeitspaketen:

- HAFF AP1: Psychologische Aspekte bei der Entscheidungsfindung für Haltepunkte und Rückschritte.
 - HAFF AP2: Unterstützung des schrittweisen Verfahrens hinsichtlich einer positiven Sicherheits- und Fehlerkultur.
 - HAFF AP3: Anwendung der Methodik auf Szenarien.
- sowie
- SAFE AP1: Bestandsaufnahme ganzheitlicher, systemischer Effekte der menschlichen Zuverlässigkeit auf den Umgang mit Sicherheitsanforderungen.
 - SAFE AP2: Methode zur Berücksichtigung der Aspekte der menschlichen Zuverlässigkeit in den Einschätzungen und Bewertungen von Ungewissheiten.
 - SAFE AP3: Anwendung der Methodik auf Modellrechnungen und Ergebnisdiskussionen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

HAFF AP1: Es wurde ein Arbeitspapier über gruppensdynamische Aspekte mit Relevanz für die psychologische Entscheidungsfindung erarbeitet.

HAFF AP2: Zur Vorbereitung der Arbeiten in TRANSENS wurde der schriftliche Beitrag zur Tagung in Loccum hinsichtlich der Anforderungen einer positiven Sicherheits- und Fehlerkultur aufgearbeitet (Sträter 2020a).

HAFF AP3: (noch keine Aktivitäten durchgeführt)

SAFE AP1: Die Bestandsaufnahme der Methoden zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit hinsichtlich ganzheitlicher, systemischer Effekte auf den Umgang mit Sicherheitsanforderungen wurde auf Basis einer aktuellen Buchveröffentlichung begonnen (Sträter 2019a).

SAFE AP2: Mögliche Vorgehensweisen und Methoden zur Berücksichtigung der Aspekte der menschlichen Zuverlässigkeit in TRANSENS wurden auf den BGE Standorttagen referiert (Sträter 2019b).

SAFE AP3: (noch keine Aktivitäten durchgeführt)

4. Geplante Weiterarbeiten

HAFF AP1: Weiterarbeit an einem Arbeitspapier und Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Entscheidungsqualität.

HAFF AP2: Aufbau eines internen Arbeitsberichtes für die Umsetzung einer positiven Sicherheits- und Fehlerkultur innerhalb von TRANSENS (in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut).

HAFF AP3: (noch keine Aktivitäten für den kommenden Berichtszeitraum)

SAFE AP1: Aufbau einer Systematik für die Berücksichtigung der menschlichen Zuverlässigkeit beim Umgang mit Sicherheitsanforderungen.

SAFE AP2: Bestandsaufnahme des Einflusses der menschlichen Zuverlässigkeit in den Einschätzungen und Bewertungen von Ungewissheiten (in Zusammenarbeit mit TU Clausthal).

SAFE AP3: (noch keine Aktivitäten für den kommenden Berichtszeitraum)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Sträter, O. (Hrsg.) (2019): Risikofaktor Mensch? - Zuverlässiges Handeln gestalten. Beuth Verlag

Sträter, O. (2019b): Aspekte menschlicher Zuverlässigkeit in der Standortauswahl, Methoden und Ansätze. BGE - Tage der Standortauswahl. BGE. Peine

Sträter, O. (2020a): Standortsuche als lineares oder lernendes Verfahren? Was ist für ein lernendes Verfahren erforderlich? Bericht der Tagung in Loccum, 28. 06. 2019, Standortsuche: Miteinander - aber nicht konform? - Atommüll-Lager und Partizipation. Loccum

Sträter, O. (2020c): Forschung und Lehre am Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie. Poster der TRANSENS Kick-Off Veranstaltung. Goslar. Verfügbar über: https://www.transens.de/fileadmin/Transens/documents/Kick-off_pdf/Poster/Poster_TRANSENS_2020_Kickoff_Vorstellung_UK-A_O_freigegeben.pdf.

31.10.2020

2.2 Vorhaben Bereich 6

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6279
Vorhabensbezeichnung: Neu- und Weiterentwicklung von Konzepten, Methoden und Techniken für die internationale Kernmaterialüberwachung, insbesondere im Rahmen der nuklearen Entsorgung (SAFE-GUARDS-3)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 6: Kernmaterialüberwachung, Feld 6.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2022	Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	
Gesamtkosten des Vorhabens: 889.554,00 EUR	Projektleiter: Dr. Niemeyer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Bundesregierung soll in ihren Bemühungen unterstützt werden, in Zusammenarbeit mit der IAEO und Euratom das Verifikationssystem zur Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen weiterzuentwickeln. Neben der ständigen Verbesserung der Effektivität des Überwachungssystems spielen Gesichtspunkte des Kontrollaufwandes (Effizienz) eine zentrale Rolle. Dieser Aspekt hat besondere Bedeutung bei der erweiterten Aufgabenstellung der IAEO durch das Zusatzprotokoll im Hinblick auf die Entdeckung undeklarer Nuklearmaterialien und Nuklearaktivitäten.

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen der vorangegangenen Vorhaben 02W6184, 02W6218, 02W6232, 02W6243, 02W6259 und 02W6263 auf. Die Arbeiten haben Bezug zum BMWi-Förderkonzept „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle - (2015-2018)“, zu den strategischen Zielen des 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (2018) im Rahmen der Entsorgungs- und Endlagerforschung, zum Nationalen Entsorgungsprogramm (2015) sowie zum BMWi-IAEA Joint Programme. Die Arbeiten werden in enger Abstimmung zwischen Regierung, den Kontrollbehörden IAEO und Euratom, Industrie sowie Forschung und Entwicklung geplant und durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- 6.1 Konzepte zur Kernmaterialüberwachung
 - AP6.1.1 Safeguards-Konzepte für verlängerte Zwischenlagerzeiten
 - AP6.1.2 Safeguards-Konzepte für unterschiedliche Endlagerkonzepte
 - AP6.1.3 Safeguards-Konzepte für kerntechnische Anlagen im Rückbau
- 6.2 Methoden und Techniken zur Kernmaterialüberwachung
 - AP6.2.1 Einschluss und Überwachung
 - AP6.2.2 Erneute Behälterüberprüfung (Re-Verifikation)
 - AP6.2.3 Methoden zur Entdeckung von unabhängigen Bergbauaktivitäten und Hohlräumen
 - AP6.2.4 Geoinformationstechnologien
- 6.3 Kooperation, Kommunikation, Kapazitätsaufbau zur internationalen Kernmaterialüberw.
 - AP6.3.1 Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik (DGAP)
 - AP6.3.2 Pflege des nationalen Safeguards-Internet-Portals
 - AP6.3.3 Nationale Gremien
 - AP6.3.4 Internationale Gremien

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP6.1.1: Erarbeitung der konzeptionellen und technischen Anforderungen an die Safeguardsüberwachung der Zwischenlager in Deutschland bis mindestens 2050

AP6.1.2: Vorbereitung des Promotionsprojekts zur Safeguardsüberwachung eines HAW Endlagers

AP6.1.3: Beratung der IAEO zur Entwicklung einer allgemeinen Safeguards-Richtlinie für Anlagen im Rückbau

AP6.2.1: Vorbereitung eines Feldtests zur Eignung des 3D Laserscanning im Rahmen von Einschluss und Überwachung der Brennelementbehälter in den Zwischenlagern

AP6.2.2: Vorbereitung eines Feldtests zur Eignung der Myonen-Tomographie zur Re-verifikation von Brennelementbehältern in den Zwischenlagern

AP6.2.3: Vorbereitung des Promotionsprojekts zur multitemporalen Satellitenbildanalyse für das Monitoring von HAW Endlagerstandorten

AP6.2.4: keine

AP6.3.1: Vorbereitung der ersten Veranstaltung zu „Nukleare Energie, Technologie und Sicherheit im internationalen Zusammenhang“

AP6.3.2: Aktualisierung „safeguards.de“

AP6.3.3: Mitarbeit in der Arbeitsgemeinschaft Kernmaterialüberwachung (AKÜ) sowie im Arbeitskreis Spaltstoffüberwachung des VGB PowerTech e.V

AP6.3.4: Mitarbeit in den ESARDA-Gremien sowie in fünf Arbeitsgruppen ‘; Mitarbeit im INMM Executive Board, stellvertretende Leitung der ‘International Safeguards Division’

4. Geplante Weiterarbeiten

AP6.1.1: Fortführung der Erarbeitung der konzeptionellen und technischen Anforderungen an die Safeguardsüberwachung der Zwischenlager in Deutschland bis mindestens 2050

AP6.1.2: Beginn des Promotionsprojekts zur Safeguardsüberwachung eines HAW Endlagers

AP6.1.3: Fortführung der Beratung der IAEO zur Entwicklung einer allgemeinen Safeguards-Richtlinie für Anlagen im Rückbau

AP6.2.1: Durchführung eines Feldtests zur Eignung des 3D Laserscanning im Rahmen von Einschluss und Überwachung der Brennelementbehälter in den Zwischenlagern

AP6.2.2: Vorbereitung eines Feldtests zur Eignung der Myonen-Tomographie zur Re-verifikation von Brennelementbehältern in den Zwischenlagern

AP6.2.3: Start des Promotionsprojekts zur multitemporalen Satellitenbildanalyse für das Monitoring von HAW Endlagerstandorten

AP6.2.4: Evaluierung der IAEO Software “Protocol Reporter 3” (PR-3)

AP6.3.1: Durchführung und Nachbereitung der ersten Veranstaltung, Vorbereitung der zweiten Veranstaltung

AP6.3.2: Aktualisierung „safeguards.de“

AP6.3.3: Mitarbeit in der Arbeitsgemeinschaft Kernmaterialüberwachung (AKÜ) sowie im Arbeitskreis Spaltstoffüberwachung des VGB PowerTech e. V.

AP6.3.4: Mitarbeit in den ESARDA-Gremien sowie in sechs Arbeitsgruppen, Co-Leitung von drei dieser Arbeitsgruppen, Mitarbeit im INMM Executive Board, Leitung der ‘International Safeguards Division’

5. Berichte, Veröffentlichungen

T. Krieger, R. Avenhaus, T. L. Burr: Statistical tests for verification sampling plans. Proc. 60th INMM Annual Meeting 2019, Desert Springs, USA

W. Janssens, I. Niemyer, et al.: Outcome and Actions of the 2019 Reflection Group of the European Safeguards Research and Development Association (ESARDA), Proc. 60th INMM Annual Meeting 2019, Desert Springs, USA

Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung

In den Halbjahresberichten werden in kurzgefasster Form die Ergebnisse der aktuell bewilligten Forschungsvorhaben dargestellt. Vorhabenrelevante Publikationen werden aufgelistet, soweit es der Platz zulässt, es ist aber nicht immer möglich alle im Rahmen eines FuE-Vorhabens erfolgten Veröffentlichungen (schriftlich oder mündlich) aufzunehmen. Ferner sind Informationen zur Aus- und Weiterbildung wissenschaftlichen Nachwuchses bei den Forschungseinrichtungen nicht explizit abgefragt und ausgewiesen worden.

Es wurde daher beginnend mit dem Jahr 2015 vereinbart, zukünftig Angaben zur Gesamtzahl der Publikationen und zu Ausbildungsaspekten zu machen. Die entsprechenden Daten werden von den Forschungseinrichtungen zur Verfügung gestellt.

Die zusammenfassende Darstellung erfolgt im jeweils zweiten Halbjahresbericht eines Kalenderjahres. Damit soll zusätzlich zur Kurzdarstellung der Vorhabenergebnisse in den Fortschrittsberichten dokumentiert werden, dass und wie die FuE-Ergebnisse verbreitet werden.

Publikationen

Im Jahr 2018 erfolgten in rund 130 Veröffentlichungen in begutachteten Journalen, in Form von Schlussberichten, Doktor-, Master-, Bachelor- und Studienarbeiten oder in sonstiger schriftlicher Form die Publikation von Ergebnissen von FuE-Vorhaben durch die geförderten Forschungseinrichtungen.

Zudem wurden im Jahr 2018 rund 100 Vorträge auf Konferenzen, bei Workshops und sonstigen Veranstaltungen gehalten und Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse präsentiert.

Aus- und Weiterbildung

Ein strategisches Forschungsziel der BMWi-Förderung ist die Bereitstellung von Expertise und Wissen, der Erhalt und Ausbau wissenschaftlich-technischer Kompetenz und als wichtiges Element dafür die Unterstützung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die Aus- und Weiterbildung von Post-Docs, Doktoranden, Masterstudenten erfolgt nahezu ausschließlich durch Universitäten und Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft. Gleichwohl erfolgt in einzelnen Fällen die Ausbildung und Finanzierung wissenschaftlichen Nachwuchses im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation zwischen Universitäten und Unternehmen.

Im Jahr 2018 waren in den hier aufgeführten FuE-Vorhaben 73 Nachwuchswissenschaftler in FuE-Vorhaben eingebunden.

3 Verzeichnis der Forschungsstellen

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Unter den Linden 87, 12205 Berlin
--

- | | | |
|-------------------|---|-------|
| 02 E 11537 | Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt A | 📖 96 |
| 02 E 11779 | MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz, Qualitätssicherung mit Ultraschall (MgO-S3) | 📖 182 |
| 1501561 | Entwicklung eines bruchmechanischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung - KEK | 📖 28 |

BGE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine
--

- | | | |
|--------------------|---|-------|
| 02 E 11193B | Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen | 📖 42 |
| 02 E 11385 | Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA) | 📖 52 |
| 02 E 11486B | Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B | 📖 88 |
| 02 E 11527 | Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoBra), Teilprojekt A | 📖 94 |
| 02 E 11577A | Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A | 📖 110 |
| 02 E 11617A | Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt A | 📖 122 |
| 02 E 11658B | Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt B | 📖 138 |

- 02 E 11678** Untersuchungen zur Vervollständigung von Stoffmodellen für Salz- oder Sorelbeton sowie spezieller low-ph und hochdichter bzw. hochfester Betone zum rechnerischen Nachweis der Rissbeschränkung für Bauwerke (UVERSTOFF) 📖 146
- 02 E 11708B** Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt B 📖 154
- 02 E 11718A** Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt A 📖 160
- 02 E 11728** Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus einem HAW-Endlager in Kristallgestein (KOREKT) 📖 164
- 02 E 11749** Weiterentwicklung der Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik von Endlagerbehältern (TREND) 📖 170
- 02 E 11839** Entwicklung eines Leitfadens zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein HAW Endlager in Salzformationen (RANGERS) 📖 198

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Christian-Albrecht-Platz 4, 24118 Kiel

- 02 E 11849B** Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt B 📖 202

DMT GmbH & Co. KG, Am TÜV 1, 45307 Essen

- 02 E 11718B** Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt B 📖 162

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 📖 70

Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich

- 02 E 11607D** Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt D 📖 120
- 02 W 6279** Neu- und Weiterentwicklung von Konzepten, Methoden und Techniken für die internationale Kernmaterialüberwachung, insbesondere im Rahmen der nuklearen Entsorgung (SAFEGUARDS-3) 📖 222

Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung angewandter Forschung e. V., Hansastr. 27 c, 80686 München

- 1501576** ProCast - Probabilistische Sicherheitsbewertung von Behältern aus Gusseisen 📖 30

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 | 102 |
| 02 E 11849C | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt C | 204 |

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena

- | | | |
|-------------|---|-----|
| 02 E 11759A | Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt A | 172 |
|-------------|---|-----|

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

- | | | |
|-------------|--|-----|
| 02 E 11284 | Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN) | 44 |
| 02 E 11314 | Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA) | 46 |
| 02 E 11365 | Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE) | 50 |
| 02 E 11466 | Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Re-poTREND+) | 80 |
| 02 E 11476A | Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A | 82 |
| 02 E 11486A | Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A | 86 |
| 02 E 11496A | Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A | 90 |
| 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 | 108 |
| 02 E 11577B | Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B | 112 |
| 02 E 11607A | Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A | 114 |
| 02 E 11617B | Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt B | 124 |
| 02 E 11627 | Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET) | 126 |

- 02 E 11647 Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern (WiGru 8)  134
- 02 E 11658A Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt A  136
- 02 E 11668A Verbundprojekt: Smart-K_d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt A  140
- 02 E 11698 Untersuchung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente (THYMECZ)  150
- 02 E 11708A Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt A  152
- 02 E 11759C Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt C  176
- 02 E 11799B Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt B  188
- 02 E 11809A Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d^{3f++}: Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt A  190
- 02 E 11819 Mineralumwandlung und Sorption bei erhöhten Temperaturen in geklüfteten Kristallingesteinen und Barrierematerial (MUSE)  194
- 02 E 11829 Tonsteinforschung im Felslabor Mont Terri ab Phase 25 (MonTe-25)  196
- RS1552 Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung  32
- RS1553A Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“)  34
- RS1563 Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern  36

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

- 02 E 11334B Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B  48
- 02 E 11415B Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B  56
- 02 E 11607B Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B  116

- 02 E 11668B Verbundprojekt: Smart- K_d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt B 📖 142
- 02 E 11748B Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt B 📖 168
- 02 E 11769B Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt B 📖 180

Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

- 02 E 11637B Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt B: Multiskalenansatz 📖 130

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 📖 20

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

- 02 E 11446B Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B 📖 72
- 02 E 11708C Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt C 📖 156

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 E 11415A Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A 📖 54

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 📖 84
- 02 E 11809B Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d³f⁺⁺: Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt B 📖 192

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

- 02 E 11637C Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt C: Geomechanik von Sedimentbecken 📖 132
- 02 E 11799A Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt A 📖 186

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 | 📖 74 |
| 1501560 | Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK) | 📖 26 |
| 02 E 11849F | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt F | 📖 210 |

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 | 📖 98 |
| 02 E 11789 | Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA) | 📖 184 |
| 02 E 11849G | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt G | 📖 212 |

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11415H | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H | 📖 68 |
|-------------|--|------|

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

- | | | |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11415C | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C | 📖 58 |
| 02 E 11547B | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B | 📖 100 |
| 02 E 11496B | Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B | 📖 92 |
| 02 E 11607C | Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C | 📖 118 |
| 02 E 11668C | Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt C | 📖 144 |
| 02 E 11759B | Verbundprojekt: Grimsel Felslabor: In-situ-Experimente zur Bentonit Langzeit-Stabilität und der Radionuklidmobilität an der Grenzfläche Bentonit - Kristallin (KOLLORADO-e3), Teilprojekt B | 📖 174 |
| 02 E 11849D | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt D | 📖 206 |
| 02 E 11849E | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt E | 📖 208 |

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg

- | | | |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11193A | Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen | 📖 40 |
| 02 E 11557 | Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II) | 📖 104 |
| 02 E 11769A | Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A | 📖 178 |

Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

- | | | |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11849H | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt H | 📖 214 |
|-------------|--|-------|

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 | 📖 76 |
| 02 E 11849I | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt I | 📖 216 |

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

- | | | |
|-------------|---|-------|
| 02 E 11446E | Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E | 📖 78 |
| 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 | 📖 106 |
| 02 E 11688 | Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Durchführung, Auswertung und Reanalyse von THM-Versuchen (Salzschnittblöcke III) | 📖 148 |
| 02 E 11708D | Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt D | 📖 158 |
| 02 E 11748A | Verbundprojekt: Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase III: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche (STROEFUN III), Teilprojekt A | 📖 166 |
| 02 E 11849A | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt A | 📖 200 |

Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt
--

- | | | |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11637A | Verbundprojekt: Geomechanisch-numerische Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD), Teilprojekt A: 3D-Spannungsmodell und Aufskalierung | 📖 128 |
|-------------|--|-------|

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

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11415G | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G | 📖 66 |
| 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 | 📖 18 |

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 | 📖 22 |
| 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 | 📖 24 |

Universität Kassel, Mönchebergstr. 19, 34125 Kassel
--

- | | | |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11849J | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt J | 📖 218 |
|-------------|--|-------|

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München
--

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11415E | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E | 📖 62 |
|-------------|--|------|

Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken
--

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11415D | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D | 📖 60 |
|-------------|--|------|

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

- | | | |
|-------------|--|------|
| 02 E 11415F | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F | 📖 64 |
|-------------|--|------|