

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

PTE Nr. 59

BMW geförderte FuE-Vorhaben zur
„Entsorgung radioaktiver Abfälle“

Berichtszeitraum: 1. Januar - 30. Juni 2020

Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Entsorgung

Oktober 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	41
2.3	VORHABEN BEREICH 6	211
	Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung.....	215
3	Verzeichnis der Forschungsstellen.....	217

1 Verzeichnis der Vorhaben gemäß FuE-Bereiche

1.1 Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter

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	 18
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	 20
1501560	Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK)	Leibniz Universität Hannover	 22
1501561	Entwicklung eines bruchmechanischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung - KEK	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	 24
1501576	ProCast - Probabilistische Sicherheitsbewertung von Behältern aus Gusseisen	Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung angewandter Forschung e. V., München	 26
1501606A	Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Strahlungs-basierte Bildgebung	TU Dresden	 28
1501606B	Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung - Teilvorhaben: Konzeption und Errichtung eines automatisierten Strahlungsmesssystems zur Durchführung von Experimenten und Zustandsanalyse von TLB	Hochschule Zittau/Görlitz	 30

1501609B	Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während längerfristiger Zwischenlagerung - Experimente zur Bestimmung der Eigenspannungen sowie der Wasserstofflöslichkeit und -diffusion	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein- Leopoldshafen	 32
RS1552	Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 34
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	 36
RS1563	Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 38

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	 118
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	 120
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)	 122
02 E 11819	Mineralumwandlung und Sorption bei erhöhten Temperaturen in geklüfteten Kristallingesteinen und Barrierematerial (MUSE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 184
02 E 11829	Tonsteinforschung im Felslabor Mont Terri ab Phase 25 (MonTe-25)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 186

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	📖 42
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	📖 44
02 E 11527	Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoB-ra), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 84
02 E 11537	Verbundprojekt: Anforderungen und Konzepte für Behälter zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein (KoB-ra), Teilprojekt B	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin	📖 86
02 E 11557	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GE-SAV II)	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 94
02 E 11577A	Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 100
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	📖 112
02 E 11627	Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 116

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	📖 136
02 E 11688	Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Durchführung, Auswertung und Reanalyse von THM-Versuchen (Salzschnittblöcke III)	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 138
02 E 11698	Untersuchung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente (THYMECZ)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 140
02 E 11708A	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 142
02 E 11708B	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt B	BGE Technology GmbH, Peine	📖 144
02 E 11708C	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt C	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 146
02 E 11708D	Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt D	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 148
02 E 11718A	Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt A	BGE Technology GmbH, Peine	📖 150
02 E 11718B	Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt B	DMT GmbH & Co. KG, Essen	📖 152
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	📖 154
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	📖 156
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	📖 158

02 E 11749	Weiterentwicklung der Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik von Endlagerbehältern (TREND)	BGE Technology GmbH, Peine	📖 160
02 E 11769A	Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A	Technische Universität Bergakademie Freiberg	📖 168
02 E 11769B	Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 170
02 E 11779	MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz, Qualitätssicherung mit Ultraschall (MgO-S3)	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	📖 172
02 E 11799A	Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt A	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	📖 176
02 E 11799B	Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 178
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	📖 188

1.4 Sicherheitsnachweis

02 E 11284	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	📖 46
02 E 11415A	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A	Johannes-Gutenberg Universität Mainz	📖 48
02 E 11415B	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden	📖 50
02 E 11415C	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	📖 52
02 E 11415D	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 54
02 E 11415E	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E	TU München	📖 56
02 E 11415F	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F	Universität Potsdam	📖 58
02 E 11415G	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G	TU Dresden	📖 60
02 E 11415H	Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 62
02 E 11446A	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt A	Dr. Andreas Hampel, Mainz	📖 64
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	📖 66

02 E 11446C	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C	Leibniz Universität Hannover	 68
02 E 11446D	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt D	TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig	 70
02 E 11446E	Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	 72
02 E 11466	Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 74
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	 76
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	 78
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	 80
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	 82
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	 96
02 E 11567B	Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 98
02 E 11577B	Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 102

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 Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 104
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.	 106
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	 108
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	 110
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 Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 114
02 E 11647	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern (WiGru 8)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 124
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	 126
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	 128
02 E 11668A	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt A	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln	 130
02 E 11668B	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt B	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	 132
02 E 11668C	Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt C	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen	 134

- | | | | |
|--------------------|---|--|-------|
| 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 | 📖 162 |
| 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 | 📖 164 |
| 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 | 📖 166 |
| 02 E 11809A | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt A | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln | 📖 180 |
| 02 E 11809B | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d ^{3f++} : Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt B | Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main | 📖 182 |

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.	📖 88
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	📖 90
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	📖 92
02 E 11789	Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA)	Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V.	📖 174
02 E 11849A	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt A	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 190
02 E 11849B	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt B	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	📖 192
02 E 11849C	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt C	Freie Universität Berlin	📖 194
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	📖 196
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	📖 198
02 E 11849F	Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt F	Leibniz Universität Hannover	📖 200

- | | | | |
|--------------------|--|---|---|
| 02 E 11849G | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt G | Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V. |  202 |
| 02 E 11849H | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt H | TU Berlin |  204 |
| 02 E 11849I | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt I | TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig |  206 |
| 02 E 11849J | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt J | Universität Kassel |  208 |

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**  212

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 Vorhaben Bereich 1

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 ausgewählte Versuche der UKAEA-Testreihe (verformbare Projektile) aufbereitet. Parallel zu den großskaligen Meppen-Versuchen (Meppen II) wurden an der Beschussanlage der britischen Atombehörde UKAEA, 28 kleinmaßstäbliche Aufprallversuche mit deformierbaren Projektilen durchgeführt. Es wurden hierzu 3D-Simulationsmodelle zu ausgewählten Versuchen in LS-DYNA erstellt. Die Auswertung und der Vergleich zwischen den experimentellen Daten und den Ergebnissen der numerischen Simulation in LS-DYNA, zeigen stimmige Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich dem lokalen Schädigungsverhalten der Stahlbetonplatten (z. B. Rissbilder, Stanzkegelform). Bei der Auswertung des Verschiebungsverhaltens auf der

Plattenrückseite besonders im Bereich globaler Plattenschwingungen, wurde eine signifikante Überschätzung auf Seiten der numerischen Simulationen festgestellt. Grundlegend liefert das verwendete und in LS-DYNA implementierte RHT-Betonmodell allerdings zufriedenstellende Übereinstimmungen mit den experimentellen Daten und kann die relevanten Phänomene im Zusammenhang mit Biege- und Stanzbruch sowie die jeweiligen Schädigungszonen abbilden.

- AP2: Die anhand der Verifikation- und Validierungsuntersuchungen sowie Beispielberechnungen gewonnenen Erkenntnisse wurden zur Erstellung des Zwischenlager-Modells für die Analyse von induzierten Erschütterungen infolge eines Turbinenanpralls eingesetzt.
- AP3: Das bereits entwickelte und vorliegende Modell vom Triebwerkstyp trent 500 wurde im Detaillierungsgrad erweitert. Weiterhin wurde ein Triebwerk vom Typ trent 900 mit hohem Detaillierungsgrad erstellt.
- AP4: Im Rahmen von Parameterstudien sowie Modellierungsanpassungen des Mockups konnten Abweichungen beim Nachschwingverhalten einzelner Sensorpunkte untersucht und nahezu behoben werden.
- AP5: Für eine ganzheitliche und gekoppelte Untersuchung des Lastfalls Turbinenaufprall auf ein Zwischenlager wurde ein generisches Modell des Zwischenlagertyps WTI erstellt und mit verschiedenen Triebwerkstypen belastet. Aufgrund der Komplexität und des hohen Rechenaufwands wurde eine Kombination aus 3D-Volumenelementen (Solids) und Schalenelementen angewandt. Der Anprallbereich der Zwischenlageroberfläche wurde diskret modelliert, um die lokalen plastischen Effekte abzubilden. Dieser Bereich (Stahlbetonwand) wird durch 3D-Volumenelemente und die Bewehrung durch darin eingebettete Stabelemente repräsentiert. Außerhalb dieses Bereiches wird mit Schalenelementen die restliche Gebäudehülle modelliert. Um die Volumenelemente des diskretisierten Bereichs mit den Schalenelementen der Außenhülle zu verbinden, wird eine mit den äußeren Knoten des diskreten 3D-Bereichs, fest verbundene "Hilfshell" erstellt. Dieser Ansatz wurde mithilfe statischer sowie dynamischer Modellversuche (3-Punkt-Biegeplatte und Impakttest mit einfachen Geometrien) verifiziert, sodass eine exakte Übertragung des Verschiebungsverhaltens zwischen diskretem Bereich und Außenhülle möglich ist. Zusätzlich wurden Gebäudeeigenfrequenzen und Massenbeteiligungen berechnet und auf Plausibilität geprüft.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Aktuell noch untersuchte und simulierte Versuche versch. Testreihen (Meppen, UKAEA, VTT IMPACT I-III, TUD) sollen vollständig ausgewertet und für den Abschlussbericht aufbereitet werden. Auch die Ergebnisse vergangener im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführter Simulationen und Auswertungen werden aufbereitet und die Erkenntnisse zusammengeführt.
- AP2: Aktuell findet die PML-Methode und somit die Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung bei Anprallberechnungen eines Zwischenlagers Anwendung. Der Einfluss der Interaktion soll abschließend quantifiziert werden. Danach erfolgt die Zusammenstellung der gesamten Arbeit im Rahmen der Anfertigung des Abschlussberichts.
- 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 des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse und im Rahmen der Teilnahme am IRIS-3 Projekt angefertigten Berichte und Auswertungen, werden aufbereitet und im Abschlussbericht zusammengeführt.
- AP5: In einem letzten Schritt werden die Simulationsergebnisse im lokalen sowie globalen Bereich ausgewertet. Dazu sollen die induzierten Erschütterungen analysiert und insbesondere der Einfluss der Boden-Bauwerk-Interaktion bewertet 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 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 242.580,20 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Glock	

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: Eine weitere Versuchsreihe mit vertikal geschichteten Probekörpern wurde durchgeführt. Durch den Einsatz von photogrammetrischen Messmethoden konnte neben der Betondruckfestigkeit auch die Dehnung des geschichteten Probekörpers sowie das Rissbild bzw. Rissentwicklung betrachtet werden, was zusätzliche Vergleichsmöglichkeiten mit den Referenzprobekörpern schafft. Die durchgeführten Versuche werden derzeit unter Verwendung eines geeigneten theoretischen Modells nachgerechnet, mit dem der durch Querdehnungsbehinderung verursachte zweiaxiale Spannungszustand berücksichtigt werden kann.

Darüber hinaus wurde eine erste Versuchsreihe mit horizontal geschichtetem Betonfestigkeiten durchgeführt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die geschichteten Betonkörper versagen, wenn die maximal aufnehmbare Last des Betons mit der niedrigsten Festigkeit erreicht wird. Umlagerungseffekte wie bei den vertikal geschichteten Proben wurden nicht erwartet. Das Versagen trat jedoch erst oberhalb des erwarteten Wertes auf. Daher wurde mit einer detaillierten Analyse der geprüften Probekörper begonnen.

AP5: Ein allgemeines Vorgehen wurde dokumentiert, mit dem sich die zusätzlichen Informationen aus Monitoring-Maßnahmen in der Bauwerksbewertung berücksichtigen lassen. Das Verfahren basiert auf der Methode des Bayes'schen Updating.

Zudem wurden die im letzten Halbjahr recherchierten Methoden aufgearbeitet, wobei der Fokus auf Verfahren der Schwellwertüberwachung lag. Die Arbeiten befassten sich vor allem mit den Herausforderungen und der Anwendbarkeit des Monitorings an kerntechnischen Bauwerken. Daneben wurden relevanten Dokumente und Regelwerke mit Bezug zur Untersuchung kerntechnischer Bauwerke durchgearbeitet und das Ergebnis dokumentiert.

AP6: Mit der Erstellung eines ersten Zwischenfazits im Sinne eines Leitfadens wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP4: Erarbeitung von Hinweisen für die Beprobung von massigen Bauteilen auf Basis der Vorhabenergebnisse sowie von Vorschlägen für mögliche Anpassungen bei der Bestimmung deren In-situ-Betondruckfestigkeit unter Berücksichtigung von Spannungsumlagerungen.

AP6: Erarbeitung der übrigen Zwischenfazits.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 begleitend zu den Arbeiten im Vorhaben weitergeführt.
- AP2: Bei in den vergangenen Berichtszeiträumen durchgeführten Beladungsversuchen an Werkstoffproben aus Zry-2 und Zr 702 waren die Proben bei Herausnahme aus dem Versuchsbehälter stark angegriffen und in den Behälter fanden sich Probenfragmente aus Hydriden. Auf den Dichtringen der Versuchsbehälter wurden zudem Messing-Ablagerungen gefunden. Die Annahme, dass eine katalytische Wirkung von Zink hierfür ursächlich war, konnte experimentell nicht bestätigt werden. Aus Sicherheitsgründen wurden trotzdem verzinkte Komponenten des Versuchsaufbaus durch vollaustenitische ersetzt und die Beladungsversuche wiederholt. Auch in den Wiederholungsversuchen war eine grundsätzliche Beladbarkeit ungeschliffener Proben sowie eine langsamere Wasserstoffaufnahme als bei geschliffenen Proben zu erkennen, vor allem bei Zry-2. Im Gegensatz zu den ursprünglichen Versuchen zeigte der Werkstoff Zr702 bei den geschliffenen Proben jedoch keine deutlich höhere Wasserstoffaufnahme mehr als Zry-2. Generell wurde in den neuen Versuchen eine geringere Wasserstoffaufnahme über den Beladungszeitraum für beide Werkstoffe festgestellt.
- Um eine bessere Auflösung sowie ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis bei der Phasenidentifikation der Hydride zu erreichen, wurden Testmessungen an einem Röntgendiffraktometer am Institut für Physikalische Chemie (Uni Hannover) durchgeführt. In den Messungen konnte eine eindeutige Phasenidentifizierung erfolgen. Bei Beladung der Probe hatten sich erwartungsgemäß Delta-Hydride ausgebildet, die sich vorwiegend an der Oberfläche des Werkstoffs befanden. Ferner bestätigten weitere Durchstrahlungsversuche an der Mikrofokusanlage, dass die Darstellung von Hydriden im Werkstoff mit Röntgenbildgebung realistisch ist.
- AP3: Um auch die Belastungsversuche simultan durchführen zu können, wurden neue Vorrichtungen zur Rohrbelastung entwickelt. Dies hat den Vorteil, dass Proben gleichzeitig belastet werden können, die demselben Temperaturverlauf unterzogen werden, was eine verbesserte Vergleichbarkeit gewährleistet. Um Messdaten über mögliche Druckveränderungen während der Belastungsversuche zu erhalten, wurde zudem eine weitere Druckleiste mit Drucksensor konstruiert. Da eine Druckmessung im Ofen nicht möglich ist, sollen hierzu ergänzende Versuche unter induktiver bzw. konduktiver Beheizung der Proben über die Druckleiste erfolgen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Fortführung der Literaturrecherche.
- AP2: Beginn mit der Wasserstoffbeladung von Proben, Erweiterung der Versuche zu Analyse der Hydridphasen sowie Untersuchungen von beladenen Hüllrohren an der Mikrofokusanlage und dem Röntgenmikroskop.
- AP3: Durchführung von Testversuchen mit den Druckleisten sowie Planung der Versuche zur Ermittlung von Druckänderungen bei mechanischer und thermischer Belastung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Bongartz et al.: „Investigations of temporal rearrangement behavior of zirconium hydride precipitates in interim and final storage“; 4th SEDS-Workshop; e-Workshop hosted in Garching, Germany; 03.-04.06.2020

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 31.10.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Versagenskriteriums für Brennstabhüllrohre
- AP4: Validierung der entwickelten numerischen Modelle mittels experimenteller Untersuchungsergebnisse
- AP5: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Die Entwicklungsarbeiten am bruchmechanischen Berechnungsansatz wurden abgeschlossen. Für die Finite-Elemente (FE)-Modellierung wurde ein elastisch-plastisches Materialmodell zur Beschreibung des duktilen Verhaltens der Proben ohne Hydride anhand der Daten aus den durchgeführten Versuchen kalibriert. Die Fließkurven wurden dabei mittels eines iterativen Verfahrens an die experimentellen Ergebnisse angepasst. Für die Simulation des plötzlichen spröden Versagens der Brennstabhüllrohrabschnitte mit radial orientierten Hydriden wird das Kohäsivzonenmodell verwendet.
- AP3: Die Entwicklung eines bruchmechanischen Versagenskriteriums wurde fortgesetzt. Durch umfangreiche Parameterstudien wurden die vorzugebenden Eigenschaften der Kohäsivelemente bestimmt. Das makroskopische Verhalten des Werkstoffs im Ring Compression Test konnte dabei mit entsprechenden Parametern des Kohäsivzonenmodells korreliert werden. Zum Beispiel konnte eine Beziehung zwischen dem Beginn des Kraftabfalls im Versuch und der Bruchenergie der Kohäsivelemente abgeleitet werden. Ferner konnte die Höhe des Kraftabfalls mit der Länge der Kohäsivzone, einer Abbildung der Länge der Hydride, korreliert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Fortsetzung der Entwicklung eines bruchmechanischen Bewertungskriteriums und Bereitstellung einer automatisierten Auswertung der Versuchsergebnisse inklusive Ermittlung der Kohäsivparameter.
- AP4: Validierung der im Vorhaben entwickelten Methoden anhand weiterer verfügbarer experimenteller Daten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Simbruner et al.: Embrittlement of Spent Fuel Claddings – Results of Ring Compression Tests, 4th GRS SEDS Workshop; 3.-4.06.2020; e-Workshop hosted in Garching, Deutschland

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 duktiles und sprödes 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: Die Probenentnahme ist abgeschlossen. Die final ermittelten Perlitanteile liegen für die Behälterwand bei ca. 1 % und für den Behälterboden bei ca. 10 - 30 %. Die ausgewerteten Ergebnisse der Zugversuche erlauben eine detaillierte Beschreibung des mechanischen Verhaltens des Gusswerkstoffs in Wand und Boden. Proben aus dem Boden zeigten im Vergleich zur Wand u. a. eine erhöhte Festigkeit, eine deutlich verringerte Bruchdehnung sowie eine höhere Streuung der Versuchsergebnisse. Versuche an SE(B)-Proben zeigten ferner, dass das Wandmaterial gegenüber dem Bodenmaterial einen deutlich höheren Widerstand gegen Rissausbreitung aufweist, das Bodenmaterial dagegen grundsätzlich ein höheres Kraftniveau erreicht. Bei einer Versuchstemperatur von 20 °C zeigten Boden- und Wandmaterial duktilen Verhalten. Bei -40 °C war das Verhalten des Wandmaterials weiterhin duktil während beim Bodenmaterial teilsprödes oder nahezu vollständig sprödes Versagen zu beobachten war. Dabei war erkennbar, dass der hohe Perlitanteil im Boden bei höheren Temperaturen einen positiven, bei tiefen Temperaturen einen deutlich negativen Einfluss auf den Risswiderstand des Werkstoffs hat. Anhand von metallografischen Schliffbildern von untersuchten Proben wurden die wesentlichen Mikrostrukturparameter extrahiert und es wurden für die Eigenschaften der Graphitpartikel entsprechende Verteilungsfunktionen ermittelt. In weiterführenden Analysen wurde der Widerstand gegen Rissausbreitung den jeweiligen Mikrostrukturparametern gegenübergestellt, wobei u. a. eine Abnahme des Widerstands mit zunehmendem Perlitgehalt und Graphitdurchmesser bei -40 °C zutage trat.
- AP2: Da die Analyse mittels Schliffbildern die tatsächliche Partikelgröße unterschätzt, wurde das Tool zur Mikrostrukturgenerierung für Abschätzungen der wahren Partikelgrößenverteilungen mittels Wahrscheinlichkeitsmethoden erweitert.
- AP3: Die experimentell ermittelten Werkstoffdaten wurden in die Auswertung der Festigkeits- und bruchmechanischen Kennwerte in der IWM-VERB-Datenbank übernommen. Ferner wurde mit der Ableitung von Korrelationen zwischen der Risswiderstandskurve und den Versuchsparametern (Temperatur, Dehnrage) begonnen.
- AP4: Zur Ableitung eines makroskopischen Versagenskriteriums wurden Versuche an glatten und gekerbten Biegeproben mit FE-Analysen nachgerechnet und die Berechnungsergebnisse statistisch ausgewertet.
- AP5: Die Implementierung der der Gewichtsfunktions-Lösungen für die bruchmechanischen Ersatzmodelle in den Code IWM-VERB wurde abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weiterführung der experimentellen Arbeiten und metallografischen Untersuchungen
- AP2: Validierung der Optimierung der Mikrostrukturgenerierung.
- AP3: Durchführung einer rechnerischen Validierung der durchgeführten bruchmechanischen Versuche anhand der abgeleiteten Korrelationen.
- AP4: Abschluss der Simulation und Auswertung von gekerbten Proben und Ableitung einer vollständigen probabilistischen Beschreibung der Versagensgrenzkurven.
- AP5: Implementierung des lokalen Versagenskriteriums in IWM-VERB und Anwendung des Berechnungskonzeptes an Fallbeispielen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 1501606A
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Strahlungsbasierte Bildgebung		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2020 bis 31.03.2022	Berichtszeitraum: 01.04.2019 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 522.104,97 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im abgeschlossenen Vorhaben DCS-MONITOR (FKZ 1501518A-B) wurden Machbarkeitsstudien zur nichtinvasiven Überwachung des Behälterinhalts durchgeführt. Die Analysen zeigten, dass das Photonen- und Neutronenfeld um den Behälter sowie die Myonenbildgebung für ein Monitoring des Behälterinventars prinzipiell geeignet sind. Auf Basis dieser Ergebnisse ist es das Ziel des dieses Vorhabens, die Ansätze der strahlungsfeldbasierten Diagnostik mit Gammastrahlung (γ), Neutronen (n) und Myonen (μ) vertieft zu untersuchen und in Richtung eines einsetzbaren Monitoringverfahrens speziell für CASTOR-Behälter zu qualifizieren. Dies schließt erstmals Feldstudien an realen Behältern und im Zwischenlager ein.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „DCS-Monitor II“. Verbundpartner ist die Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG). Das Teilvorhaben (FKZ 1501606B) der HSZG befasst sich mit der Konzeption und Errichtung eines automatisierten Strahlungsmesssystems zur Durchführung von Experimenten und Zustandsanalysen von TLB mit Fokus auf die Messung des γ - und n-Strahlungsfeldes.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse von Forschungsergebnissen zum Verhalten des Behälterinventars
- AP2: Methodische Arbeiten zur Analyse von γ -, n- und μ -Strahlungsfeldern
- AP3: Vorbereitung von Experimenten
- AP4: Experimentelle Studien an CASTOR-Behältern

Das AP1 wird dabei ausschließlich vom Verbundpartner HSZG bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Im Vorgängervorhaben DCS-MONITOR wurde für MCNP-Simulationen eine detaillierte Geometrie des CASTOR V/19 erstellt. Diese wurde nun in den Monte-Carlo-Code G4beamline implementiert. Ein großer Vorteil von G4beamline besteht darin, dass eine große Flexibilität bei der Erzeugung realistischer Energie- und Winkelverteilungen der kosmischen Myonen möglich ist. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die simulierten Pfade mit eventuellen Teilchentransportsimulationen im Detektor zu verknüpfen. Zurzeit werden Simulationen mit senkrecht einfallenden kosmischen Myonen durchgeführt und die resultierenden Myonenflüsse unterhalb des Behälters mit MCNP-Ergebnissen verglichen. Weiterhin wird ein Algorithmus zur automatischen Bestimmung der Streufunktion auf einem virtuellen Detektor unterhalb des Behälters implementiert.
- AP3: Vom FZJ wurden vier Straw-Tube-Tracker-Module ausgeliehen, ans HZDR transportiert und aufgebaut. Jedes Modul besteht aus zwei Lagen aus ca. 100 gewickelten Röhren mit einem Durchmesser von 1cm und einer Länge von ca. 100 cm. Derzeit erfolgt die Inbetriebnahme und Auswertung der Impulse der einzelnen Röhren mit einer Testelektronik.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Abschluss des Vergleichs von MCNP- und G4beamline-Simulationsergebnissen sowie Durchführung von Simulationen zur Schaffung einer Datenbasis für die Implementierung und Validierung von Bildrekonstruktionsalgorithmen.
- AP3: Entwicklung eines geeigneten Detektordesigns mitsamt Elektronik für das Monitoring unter Einsatz von Feldsimulationen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau		Förderkennzeichen: 1501606B
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung - Teilvorhaben: Konzeption und Errichtung eines automatisierten Strahlungsmesssystems zur Durchführung von Experimenten und Zustandsanalyse von TLB		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2020 bis 31.03.2022	Berichtszeitraum: 01.04.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 567.203,86 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kratzsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im abgeschlossenen Vorhaben DCS-MONITOR (FKZ 1501518A-B) wurden Machbarkeitsstudien zur nichtinvasiven Überwachung des Behälterinhalts durchgeführt. Die Analysen zeigten, dass das Photonen- und Neutronenfeld um den Behälter sowie die Myonenbildgebung für ein Monitoring des Behälterinventars prinzipiell geeignet sind. Auf Basis dieser Ergebnisse ist es das Ziel des dieses Vorhabens, die Ansätze der strahlungsfeldbasierten Diagnostik mit Gammastrahlung (γ), Neutronen (n) und Myonen (μ) vertieft zu untersuchen und in Richtung eines einsetzbaren Monitoringverfahrens speziell für CASTOR-Behälter zu qualifizieren. Dies schließt erstmals Feldstudien an realen Behältern und im Zwischenlager ein.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um ein Teilvorhaben des Verbundes „DCS-Monitor II“. Verbundpartner ist die Technische Universität Dresden (TUD). Das Teilvorhaben (FKZ 1501606A) der TUD fokussiert sich auf weiterführende Analyse und Erprobung der Myonenbildgebung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse von Forschungsergebnissen zum Verhalten des Behälterinventars
- AP2: Methodische Arbeiten zur Analyse von γ -, n - und μ -Strahlungsfeldern
- AP3: Vorbereitung von Experimenten
- AP4: Experimentelle Studien an CASTOR-Behältern

Das AP1 wird dabei ausschließlich von der HSZG bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Es wurden erste Recherchen zu Hüllrohrschäden und Kernbrennstoffverteilungen bei verlängerter Zwischenlagerung durchgeführt. Die Literaturrecherche bildete das Grundgerüst für einen Fragenkatalog, der zum Informationsaustausch zwischen den Beteiligten im Vorhaben und zur Festlegung der Parameter für die Konzeption der Versuchsstände dienen soll.
- AP2: Weitere Literaturrecherchen befassten sich mit bisherigen internationalen Untersuchungen zur Gammastrahlungs- und Neutronenanalyse. Es entstand eine Liste mit infrage kommenden Herstellern auf dem Gebiet der Strahlungsmesstechnik, wobei insbesondere die Beschaffung der Sensorik im Fokus stand.
- AP3: Auch für die Konzeption des Versuchsstandes wurden Recherchen in Bezug auf Verfahrenssysteme und Gammadetektoren durchgeführt. Ein Fragenkatalog zur Klärung offener Punkte und Festlegung zu berücksichtigender Randbedingungen für die Konzeption des Messsystems und für die experimentellen Studien an CASTOR-Behältern wurde erarbeitet. Der Fragenkatalog wurde im Anschluss vom Verbundpartner TUD in einer ersten Iteration erweitert.
Darüber hinaus wurde für die geometrische Auslegung des Messsystems ein 1:1 CAD-Modell eines CASTOR V/19 angefertigt. Zur Nachbildung der realen Platzverhältnisse wurden zudem CAD-Modelle der Aufstellungskonzepte in WTI- und STEAG-Zwischenlagern angefertigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Recherchen und Analysen mit Schwerpunkt auf Hüllrohrschädigungen und relevanten Zuständen des Behälterinventars
- AP2: Grundlegende physikalische Analysen zu unterschiedlichen Teilaspekten der Gammastrahlungsmessung und Bewertung der prinzipiellen Anwendbarkeit
- AP3: Ausarbeitung einer Anforderungsliste für den Versuchsstand zu experimentellen Untersuchungen der Messmethoden
- AP4: Übergabe des finalen Fragenkatalogs an den Betreiber

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 1501609B
Vorhabensbezeichnung: Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während längerfristiger Zwischenlagerung - Experimente zur Bestimmung der Eigenspannungen sowie der Wasserstofflöslichkeit und -diffusion		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle u. Behälter, Feld 1.1		
Laufzeit des Vorhabens: 15.06.2020 bis 14.06.2023	Berichtszeitraum: 15.06.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 449.216,37 EUR	Projektleiter: Große	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel besteht in der experimentellen Bestimmung der Löslichkeit und Diffusion von Wasserstoff in Hüllrohrmaterialien unter mechanischer Spannung. Daraus lässt sich der Fluss sowie das chemische Potential des Wasserstoffs in Hüllrohrmaterialien unter Bedingungen der längerfristigen Zwischenlagerung ausgedienter Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern (TLB) bestimmen. Das Vorhaben verfolgt die Anwendung von verschiedenen Einzeleffekttests, deren zusammengeführte Ergebnisse allgemeine Anwendbarkeit ermöglichen sollen. In einem ca. achtmonatigen Großversuch sollen in einem Brennstab-Simulationsbündel prototypische Veränderungen in der Hydrid-Struktur erzeugt und danach analysiert werden.

Das Vorhaben ist ein Teilvorhaben des Verbundes SPIZWURZ. Der Schwerpunkt des Teilvorhabens am KIT liegt auf der experimentellen Ermittlung der Einflüsse auf den Wasserstofffluss im Hüllrohrmaterial. Im Teilvorhaben (RS1586A) des Verbundpartners Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit gGmbH (GRS) steht die theoretische Beschreibung der untersuchten Effekte sowie deren Verifizierung im Rahmen eines Blind-Benchmark im Vordergrund.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Wasserstoffdiffusion im Hüllrohr

AP2: Spannungszustände zwischen Kernbrennstoff und Zircaloy-Hüllrohr von bestrahlten Brennstoffproben

AP3: Zusammenführung und Auswertung

Der Verbundarbeitsplan umfasst insgesamt fünf Arbeitspakete. AP4 und AP5 werden ausschließlich durch den Verbundpartner GRS bearbeitet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Mit der Beschaffung der erforderlichen Komponenten für den Bündelaufbau wurde begonnen.
- AP2: Für die Untersuchungen des Spannungszustandes wurde ein Zircaloy-4 Hüllrohrstück mit einem halben Brennstoffpellet von einem bestrahltem Brennstabsegment ausgewählt. Darüber hinaus wurde der Prozess zur Beschaffung geeigneter Instrumente für die Vermessung des Hüllrohrdurchmessers vor und nach Herauslösen des Brennstoffs initiiert. Ferner erfolgte die Präparation nicht bestrahlter Zircaloy-4 Hüllrohrproben für die Bestimmung von relevanten Materialkennwerten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Konstruktion eines Ofeninlets für die Wasserstoffbeladung
Punktförmige Wasserstoffbeladung von Hüllrohrsegmenten bei verschiedenen Temperaturen und über verschiedene Zeiträume sowie erste Neutronenradiographieuntersuchungen
- AP2: Installation und Inbetriebnahme einer geeigneten Messvorrichtung zur Bestimmung des Hüllrohrdurchmessers sowie eines experimentellen Aufbaus zum Herauslösen des Brennstoffs in der abgeschirmten Boxenlinie des KIT
Charakterisierung der ausgewählten, bestrahlten Hüllrohrprobe vor dem Herauslösen des Brennstoffs

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: 01.01.2020 bis 31.05.2020	
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 TESPA-ROD erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Entwicklung eines Modells zur Vorhersage der Sprödbruchübergangstemperaturen und Implementierung in TESPA-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 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 412.580,00 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

- AP3: Das aktuelle deutsche Regelwerk „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ des BMU wurde in Bezug auf die Einwirkungen „Explosionsdruckwelle“ analysiert. Als wesentliche Anforderung an die bauliche Auslegung für den Schutz von Kernkraftwerken

gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen sowie für Abstandsanforderungen wird darin vorrangig auf die Druckwellen-Richtlinie des BMI Bezug genommen. Die Umsetzung der Regelwerksanforderungen wurde am Beispiel einer DWR-Anlage dargestellt. Bei Auslegung der Anlage gegen den Lastfall Flugzeugabsturz (FLAB) gemäß RSK ist der Lastfall „Explosionsdruckwelle“ mit höherfrequenten induzierten Schwingungen mit abgedeckt. Für niederfrequente induzierte Schwingungen kann standortbezogen eine Abdeckung durch den Lastfall Bemessungserdbeben erfolgen. Damit ist der Lastfall „Explosionsdruckwelle“ nicht für alle Standorte bestimmend für die bautechnische Auslegung. Gemäß dem Leitfaden „Probabilistische Sicherheitsanalyse“ des BMU sowie zugehöriger Dokumente muss der Lastfall „Explosionsdruckwelle“ aber einer probabilistischen Analyse unterzogen werden.

- AP6: Die Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung der operativen Zuverlässigkeit bestehender Bauwerke wurde weitergeführt.
- AP7: Für eine vollprobabilistische Ermittlung der operativen Zuverlässigkeit kann prinzipiell die First-Order Reliability Method (FORM) zum Einsatz kommen, die in der pränormativen bautechnischen Forschung weit verbreitet ist. Aufgrund des damit verbundenen zeitlichen Aufwands und deren Komplexität erscheint eine Anwendung bei der baupraktischen Bemessung und Bewertung aber als wenig praktikabel. Daher wurde ein vereinfachter Lösungsansatz zur Sicherstellung des normativ geforderten Zuverlässigkeitsniveaus entwickelt, welcher auf der Verwendung von Quantilen der Verteilungsfunktionen von Einwirkungen und Materialkennwerten beruht. Ferner beinhaltet der Ansatz Sicherheitsfaktoren zur Minimierung der rechnerischen Versagenswahrscheinlichkeit. Die Mehrzahl internationaler Baunormen basiert auf dem (semi-probabilistischen) Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte, weswegen das Konzept analysiert und ausführlich dargestellt wurde. Das geforderte Zuverlässigkeitsniveau wird dabei durch eine zielführende Auswahl der Teilsicherheitsbeiwerte erreicht. Das Konzept lässt sich für eine Anpassung der in den Baunormen angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte für die Nachrechnung bestehender Bauwerke anwenden. Formal kann dabei die Zielzuverlässigkeit nicht geändert, aber durch angepasste Teilsicherheitsbeiwerte reguliert werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Dokumentation der Erkenntnisse zum Stand von Wissenschaft und Technik
- AP2: Dokumentation der Erkenntnisse zur internationalen Normenentwicklung
- AP3: Abschluss der Untersuchungen zur probabilistischen Bewertung und Auslegung von kerntechnischen Bauwerken und Dokumentation
- AP5: Zusammenfassung der Erkenntnisse zum Monitoring und Dokumentation
- AP6: Abschluss der Entwicklungsarbeiten an der Methodik zur Ermittlung der vorhandenen Zuverlässigkeit und Dokumentation
- AP7: Abschluss der Entwicklungsarbeiten an der Methodik für die zuverlässigkeitsorientierte Bewertung von kerntechnischen Bauwerken und Dokumentation

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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: Die GRS nahm an der 2. Phase des internationalen VeRCoRS-Benchmarks zur Untersuchung der Alterung eines Beton-Modellcontainments und des Einflusses der Alterung auf die Leckage bei einer Innendrucklast teil. Auf Nachfrage nach Abschluss wurde seitens EDF der Spannvorgang der Spannkabel im VeRCoRS-Modellcontainment näher erläutert und offene Fragen zur Einwirkung der Spannkabel-Spannung auf die gemessenen Dehnungen in der Betonstruktur beantwortet. Dabei ergab sich, dass Temperatureffekte einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Dehnungen in der Betonstruktur haben.
- AP2: Zur Qualifizierung der Simulationsprogramme Moose und Black Bear, die vom Idaho National Laboratory entwickelt werden, wurde in der Fachliteratur zu geeigneten, gut dokumentierten und realistischen Simulationsproblemstellungen recherchiert. Hierzu liegen nur wenige Benchmarks zu von AKR befallenen Betonstrukturen vor, die wegen der Komplexität der Struktur für eine Validierung der Programme nur geringfügig geeignet sind.
- AP3: Zur Validierung der Simulationsprogramme wurden je eine Benchmark-Serie zu Schwinden und eine Benchmark-Serie zu Kriechen herangezogen. Untersucht wird je ein zylindrischer Betonkörper, dem unterschiedliche Randbedingungen zugrunde liegen. Für die Benchmark Serie „Schwinden“ wurden sechs verschiedene Kombinationen und Randbedingungen, die die relative Luftfeuchte, Temperatur, mit und ohne Versiegelung sowie Betonzusammensetzung betreffen, herangezogen.
- AP4: Darüber hinaus wurden drei Benchmarks zur strukturmechanischen Wirkung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion für die Validierung der Simulationsprogramme herangezogen. Ein Versuchskörper besteht aus einem Betonzylinder, für den bei Messungen Dehnungsverläufe ermittelt wurden. Mit der Erstellung der Simulationsmodelle wurde begonnen. Insbesondere soll der Einfluss der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und des Einschlusses untersucht werden. Als Einschluss ist zu verstehen, dass ein Betonzylinder durch ein Stahlrohr fest ummantelt ist, und dadurch ein Anschwellen des Betons bevorzugt in axialer Ausdehnung hervorgerufen wird.
- AP5: Die nationale Norm DIN 4149 zur Bemessung von Gebäuden in Erdbebengebieten, welche durch den Eurocode 8 ersetzt wurde sowie die KTA 2201 wurden hinsichtlich der Berechnungsverfahren ausgewertet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die GRS plant an der dritten Phase des internationalen VeRCoRS-Benchmarks, die in Anfang 2021 starten soll, teilzunehmen.
- AP2: Die Fachliteratur soll hinsichtlich der Umsetzung der betrachteten Alterungsmodelle zu Kriechen und Schwinden sowie zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion 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, die den Teilnehmern des VeRCoRS-Benchmarks zugänglich gemacht wurden, verglichen werden.
- AP4: Sobald die Validierung der Programme Moose und Black Bear des Idaho National Laboratory hinsichtlich der strukturmechanischen Wirkung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion abgeschlossen ist, soll die Wechselwirkung von Beton, Bewehrung und AKR simuliert werden.
- AP5: Die Arbeit an der Modellerstellung 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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, Widerlagererelemente 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: Arbeiten abgeschlossen.
- 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 Proben 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 gebildeten 5-1-8-Bindemittelphase weiter ab (derzeit noch ca. 2 - 3 M.-%) und der Anteil der 3-1-8-Bindemittelphase nimmt weiter zu.
- AP4: Nach dem letzten (dritten) pneumatischen Vortest (Dezember 2019) betrug die effektive Gaspermeabilität des Gesamtsystems (Bauwerk aus MgO-Ortbeton C3 + Steinsalz-Umgebung) 10^{-18} m². Die Flüssigkeitsdruckbelastung wurde bei konstant 20 bar Lösungsdruck durchgeführt. Mit der Zeit hat sich der eingehende Volumenstrom von 8 - 9 cm³/h bis auf 2,2 cm³/h reduziert. Unter den Annahmen einer einphasigen, quasistationären Strömung in den theoretisch bis 50 % aufgesättigten Porenraum des MgO-Baustoffs C3 wurde als Endwert eine effektive Lösungspermeabilität von $1,4 \cdot 10^{-19}$ m² bestimmt. Dabei betrug zum derzeitigen Zeitpunkt die Tiefe der in das Bauwerk eingedrungenen Lösungsfront (strömungstechnisch wirksame Bauwerkslänge) 18 cm. Der radiale Kontaktdruck zwischen Steinsalz und MgO-Beton C3 ist weiterhin (ca. 560 Tage nach der Betonage) konstant hoch (untere Messebene: 6,2 MPa und obere Messebene: 5,7 MPa). Anzeichen eines Rückganges sind nicht erkennbar.
- AP6: Alle Teilberichte befinden sich in der redaktionellen Bearbeitung. Der zusammenfassende Schlussbericht (ZAB) liegt in Deutsch und Englisch als Entwurf vor.

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.
- AP6: Verteilung des ZAB an alle Projektpartner zur Kommentierung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Aurich, D. Freyer, M. Gruner, W. Kudla: Large-scale tests to investigate MgO concrete with a long-term stable 3-1-8 phase in the Sondershausen and Teutschenthal mines. Poster, EGU General Assembly 2020

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Erd-

beben weitergearbeitet. Als Testmodell diente eine 50 m hohe Schottersäule. Als Testmodell diente eine 50 m hohe Schottersäule. Die bereits im Vorjahr begonnenen Parameterstudien und Sensitivitätsbetrachtungen wurden im Berichtszeitraum fortgeführt. Zum einen wurden die Dämpfungswerte und Reibungswinkel variiert. Zum anderen wurden zusätzliche dynamische Anregungen (Erdbeben) auf die Schottersäule aufgebracht. Auch nach einem zweiten Erdbeben an der bereits dynamisch angeregten Säule traten keine weiteren Setzungen auf. Die bisherigen Modelle wurden zur Reduzierung der Partikelanzahl und Minimierung der Rechenzeit mit 6-fach vergrößerten Partikeln erstellt. Aus den bereits durchgeführten Vergleichsrechnungen zur statischen Belastung ist bekannt, dass die Vergrößerung der Partikel mit einem Faktor 6 gut mit der theoretischen Lösung (Silotheorie) übereinstimmt. Um den Einfluss der Korngrößenskalierung auf die dynamischen Berechnungen zu untersuchen, wurde ein neues Modell mit nur noch 3-facher Partikelvergrößerung aufgesetzt. Der virtuelle Einbau der 50 m hohen Schottersäule begann Ende April 2020 und ist zum Ende des Berichtszeitraumes noch nicht abgeschlossen. Das Ende des Einbauprozesses wird im Juli 2020 erwartet, anschließend erfolgt die dynamische Anregung und schließlich die Auswertung der Ergebnisse.

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. Der getestete Ansatz nach Hasse erzielte die beste Übereinstimmung. Im Berichtszeitraum erfolgte die Kalibrierung des Modells für das Destillationsbitumen AZALT anhand der von TUBAF durchgeführten Laborversuche. Es zeigte sich, dass die Kelvin-Anteile des Modells nicht signifikant für die Beschreibung des Materialverhalten sind. Die entsprechenden Elemente des Modells wurden numerisch ausgeschaltet. Dies ist insofern plausibel, da das Destillationsbitumen eine deutlich geringere Viskosität als das Oxidationsbitumen (STELOX) besitzt. Der Flüssigkeitscharakter des Destillationsbitumens ist wesentlich dominanter. Als letzter Schritt der Arbeiten wurde am Bitumenstoffmodell mit der numerischen Modellierung eines theoretischen Experiments mit einem freistehenden Würfel begonnen.

AP6: Aufbauend auf den Berichtsentwürfen von 2017 wurde mit der Erstellung der Abschlussberichte begonnen.

AP1, 3, 4 und 5 werden in je einem Teilbericht dokumentiert.

AP2 (Planung der Versuche) fließt in den AP4-Bericht ein. Der Teilbericht Mikrostrukturuntersuchungen wurde im Berichtszeitraum abgeschlossen.

Für den zusammenfassenden Abschlussbericht und den „Synthesis Report“ (in englischer Sprache) wurde ein erster Entwurf erstellt. Dieser befindet sich zurzeit in der Abstimmung mit den Projektpartnern.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP5: Die letzten noch laufenden Berechnungen zur Schottersäule und dem Bitumenstoffmodell werden zu Ende geführt und anschließend ausgewertet.

AP6: Die Berichterstellung wird weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 Ent sättigung 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

Die noch offene Messung der Adsorptionsscanlines bei 25 °C für MX-80 wurde abgeschlossen. Bei der Auswertung der Daten für vollständige Isothermen und Scanlines stellte jedoch heraus, dass die Ergebnisse aus zeitlich getrennten Messkampagnen mit womöglich unterschiedlichen Proben nicht genau genug waren. Aus diesem Grund wurden Bentonitproben stattdessen bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit mehreren Zyklen wechselnder Temperaturen unterworfen. Aus diesen Messungen ergaben sich schließlich verwertbare Daten für die Temperaturabhängigkeit der Isothermen.

Die Auswertung der Daten für die Scanlines ergab, dass die Scanlines bei Wechsel von Adsorption zu Desorption und umgekehrt nicht wie erwartet die Adsorptions- und die Desorptionsisotherme verbinden. Stattdessen führen Desorptionsscanlines von der Adsorptionsisotherme auf den Ursprung ($rh=0$, $w=0$) ohne die Desorptionsisotherme auf dem Weg zu berühren. Gleiches gilt analog auch für die Adsorptionsscanlines. Formal können die Isothermen somit als Sonderfälle der Scanlines betrachtet werden.

Die aus den Messungen abgeleiteten analytischen Formulierungen tragen diesem Umstand Rechnung. Die Herleitung der analytischen Formulierungen gestaltete sich wegen des komplexen Kurvenverlaufs allerdings unerwartet aufwändig.

Bei der Umsetzung der neuen Formulierungen im Code VIPER musste von dem ursprünglich vorgesehenen Konzept der isothermenverbindenden Scanlines auf das Konzept einer Schar von individuellen „Isothermen“ umgeschwenkt werden. Daraus folgte eine Reihe von Schwierigkeiten im Detail, da ältere Rechnungen mit nur einer Isotherme weiterhin möglich bleiben sollten.

Da die Einsatzfähigkeit von Code VIPER vorrangig vor den Arbeiten zur Modellierung und der Rechenfallbibliothek erschien, wurde der geplante Umfang zu diesen Arbeiten reduziert. Die Modellrechnungen beschränken sich auf exemplarische Vergleiche zum Effekt der neuen Formulierungen. Für die Rechenfallbibliothek wurde eine Struktur für die Dokumentation entwickelt und ebenfalls nur exemplarisch anhand früherer Rechnungen konkretisiert. Auch die Erstellung des Abschlussberichts war aus diesem Grund nicht termingerecht möglich.

Entwicklung und Optimierung der gedruckten Zellen für die Messungen an eingespannten Bentonitproben wurden abgeschlossen. Die ersten Messergebnisse zusammen mit den neuen Ergebnissen zu den Scanlinien deuteten darauf hin, dass die in der Literatur beobachteten Strukturveränderungen in der für ein Endlager relevanten Bandbreite von Bentonittrockendichten möglicherweise einen geringeren Einfluss auf die Wasseraufnahmefähigkeit haben als bislang angenommen. Weitere Messungen zur Überprüfung dieses unerwarteten Ergebnisses waren aufgrund des Lockdowns nicht in ausreichendem Umfang möglich.

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Kröhn, K.-P. und Kröhn, M.: Producing fractures with a 3D-printer for flow experiments – the price to pay for the easy way out. Poster auf der (virtuellen) EGU2020, 2020

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: 01.01.2020 bis 29.02.2020	
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

Die Auswertung der Batchversuche zur Sorption von Actiniden an CSH-Phasen in MilliQ-Wasser sowie an Zementsteinpulver (HCP) in verdünnter Gipschut-Lösung (VGL) in Abhängigkeit des pH-Werts, des S/L-Verhältnisses und der Actinidenkonzentration wurde abgeschlossen.

Die Wiederholung einiger Versuche zum Einfluss von Gluconat auf die Sorption von Actiniden an HCP in synthetischen Zementporenwässern (ACW und ACW-VGL) wurde beendet. Dabei wurden die Reihenfolge der Zugabe von Gluconat und Actinid variiert und der zeitliche Verlauf der Sorption und Desorption der Actiniden an HCP studiert.

Nach Abschluss der Experimente zur Diffusion von $9 \mu\text{M}$ Np(V) in OPA ($\varnothing \approx 5 \text{ mm}$; $h \approx 10 \text{ mm}$) wurden die Proben mittels der weiterentwickelten Mikro-Schleifapparatur schrittweise abgetragen und gammaspektrometrisch analysiert. Die Versuchsreihen beinhalteten vier Proben, von denen jeweils zwei 48 bzw. 79 Tage der Np(V)-Lösung in OPA-Porenwasser ausgesetzt waren. Zum Vergleich war in einer klassischen Diffusionszelle mit OPA der gleichen Toncharge ebenfalls die Eindiffusion von $9 \mu\text{M}$ Np(V) durchgeführt worden. Auch von dieser Probe wurden Schleifproben angefertigt. Die Messung der zahlreichen Schleifproben aus den Diffusionsversuchen mit Np ist beendet; die Auswertung der Messdaten zur Bestimmung der Diffusionsparameter dauert noch an.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Anfertigung des Abschlussberichtes
- Abschluss der Auswertung der Np-Diffusionsversuche
- Erstellung von Manuskripten für Veröffentlichungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11415B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 29.02.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 29.02.2020	
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

Es wurden weitere Batch-Sorptionsuntersuchungen zur Uran(VI)-Rückhaltung an C-A-S-H-Phasen und Al-haltigen Tobermorit-Phasen durchgeführt, um den Einfluss von Al auf die Struktur der C-A-S-H-Phasen und deren U(VI)-Rückhaltevermögen im Vergleich zu C-S-H-Phasen zu untersuchen. Es wurden Proben mit unterschiedlichen Ca/Si-Verhältnissen und variierenden Al/Si-Verhältnissen hergestellt. Die C-(A-)S-H-Phasen wurden in Abwesenheit und Gegenwart von U(VI) hergestellt. Gegenwärtig werden die Proben umfassend mittels ^{27}Al und ^{29}Si MAS NMR, XRD und ICP-MS-Messungen charakterisiert und die U(VI)-Bindung mittels Lumineszenzspektroskopie (TRLFS) identifiziert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Projekt beendet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

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. *Inorganic Chemistry* 59, 4244-4254 (2020).

Philipp, T.: U(VI) retention by Ca-bentonite and clay minerals at (hyper)alkaline conditions. Dissertation, Technische Universität Dresden (2020)

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: 01.01.2020 bis 29.02.2020	
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:

Das Manuskript zu den binären Calcium-Gluconat-Komplexen wurde in der Zeitschrift Coordination Chemistry Reviews veröffentlicht. Dieses sehr umfassende Werk fasst alle verfügbaren ther-

modynamischen Daten für das System Ca-GLU zusammen, das ein grundlegender Baustein für die Erstellung thermodynamischer Modelle für das ternäre System Ca-An-GLU ist. Das Manuskript zur Löslichkeit und Spezifizierung von An(III)/Ln(III) in Gegenwart von Gluconat in NaCl- und CaCl₂-Systemen befindet sich in der letzten Phase der internen Überarbeitung und wird im August vorgelegt (Rojo, Gaona et al.). Dieses Manuskript beschreibt die experimentellen Beobachtungen und diskutiert die vorherrschenden chemischen Reaktionen in diesen Systemen. Das dazugehörige thermodynamische Modell (einschließlich des MgCl₂-Systems) wird in einer nachfolgenden Publikation präsentiert werden. Das Manuskript über die Screening-Experimente mit Nd (III), Th(IV) und U(VI) und ausgewählten Zementzusatzstoffen ist in der letzten Phase der internen Revision und wird voraussichtlich im September eingereicht werden.

AP2:

Im Rahmen von AP2 wurde die Wechselwirkung von Cm(III) mit Gluconat mittels TRFLS in wässriger Lösung untersucht. Die Emissionsspektren wurden bei konstanter Gluconatkonzentration (10⁻² M) als Funktion des pH-Wertes (pH = 3 – 12) aufgenommen. Als Elektrolyte wurden 0.1 M NaCl und 0.06 M CaCl₂ verwendet, und die Experimente wurden unter Ausschluss von CO₂ durchgeführt. Die Emissionsspektren zeigen mit steigendem pH-Wert eine deutliche bathochrome Verschiebung und Ausbildung weiterer Emissionsbanden im Bereich von 596.0 bis 611.0 nm, neben dem Cm(III)-Aquoion (593.8 nm). Auffällig ist, dass im NaCl-System insgesamt 5 unterschiedliche Emissionsmaxima zu beobachten sind, während im CaCl₂-System lediglich 4 Banden auftreten. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Anwesenheit von Ca²⁺ zur Ausbildung ternärer Ca-OH-Cm-Komplexe (z. B. CaCm(OH)₃²⁺, Ca₂Cm(OH)₄³⁺) führt. Insbesondere die Tatsache, dass im CaCl₂-System eine Emissionsbande bei 611.0 nm vorhanden ist, welche im NaCl-System fehlt, ist ein starkes Indiz für diese Hypothese.

Des Weiteren wurde die Sorption von Cm(III) an Montmorillonit in Anwesenheit von 10⁻² M Gluconat mittels TRFLS in 0.1 M NaCl- und 0.06 M CaCl₂-Lösung als Funktion des pH-Wertes untersucht. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Verhalten der Spektren mit steigendem pH-Wert und die auftretenden Emissionsmaxima stark den binären, wässrigen Cm(III)-Gluconat-Spezies ähneln. Ursache hierfür könnte sein, dass die Emissionsbanden der adsorbierten Spezies geringere Fluoreszenzintensitätsfaktoren als die wässrigen Komplexe aufweisen, und daher von diesen überlagert werden. Diese Hypothese wird durch eine starke Fluoreszenzquantenausbeute von Cm(III) in wässriger Lösung in Gegenwart von Gluconat unterstützt.

Durch diesen Effekt und dem gleichzeitigen Vorhandensein von vielen Emissionsbanden ist eine Peakentfaltung und Quantifizierung der Komplexierungs- und Sorptionsreaktionen nicht möglich.

4. Geplante Weiterarbeiten

Verfassen des Abschlussberichtes, Veröffentlichung der Ergebnisse.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Kutus, B., Gaona, X., Pallagi, A., Pálinkó, I., Altmaier, M., Sipos, P. (2020): Recent advances in the aqueous chemistry of the calcium(II)-gluconate system – Equilibria, structure and composition of the complexes forming in neutral and in alkaline solutions. *Coordination Chemistry Reviews*, 417, Manuscript 213337; doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213337

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Campus, 66123 Saarbrücken		Förderkennzeichen: 02 E 11415D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 802.013,00 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-Phosphono-butan-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 Puffer-Material 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

Die zeitabhängige Untersuchung der Retention eines endlagerrelevanten Elementgemischs (Waste-Cocktail aus Eu^{3+} , Cs^+ , UO_2^{2+} und I^-) an C-S-H-Phasen wurde abgeschlossen. Die Retentionsexperimente wurden insgesamt über 16 Wochen, in denen acht Beprobungen stattgefunden haben, mit zwei verschiedenen Ausgangskonzentrationen (500 nM und 10000 nM) in 0,1 M NaCl und in verdünnter Gipshuttlösung (VGL) durchgeführt. Alle Experimente wurden im hyperalkalinen Bereich zwischen pH 12,5 und pH 13 durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass der Einfluss der Ionenstärke in Kombination mit C-S-H-Phasen marginal ist. Die Retentionsfähigkeit der C-S-H-Phasen gegenüber U(VI) und Eu(III) ist hoch. Die Entfernung von Cs(I) aus der Lösung ist in Gegenwart von C-S-H-Phasen jedoch nicht möglich. Die Iodid-Retention an C-S-H-Phasen ist reversibel.

Es wurden außerdem ergänzende Untersuchungen zum Rückhalt von U(VI) an Calcigel durchgeführt. In vorausgegangenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass U(VI) in ACW (pH 12,5) einen deutlich höheren Rückhalt ($\log K_d \sim 3,5$) zeigt als in den reinen NaCl-Lösungen verschiedenster Ionenstärke (pH 13, $\log K_d \sim 2-2,5$). Um zu klären, ob dies auf den unterschiedlichen pH-Wert oder den Ionengehalt zurückzuführen ist, wurde der Rückhalt von Uranyl in NaCl-Lösungen bei pH 12,5 bestimmt. Hier konnte zwar ein erhöhter Rückhalt im Vergleich zu pH 13 festgestellt werden (~15 %), der konzentrationsabhängige Verlauf spiegelt jedoch nicht die sehr hohe Immobilisierung in ACW wider, sodass ein additiver Einfluss der im ACW enthaltenen Ionen (v.a. Ca^{2+}) anzunehmen ist.

Die weiteren geplanten Arbeiten im Berichtszeitraum vom 31.12.2019 bis 30.06.2020 mussten aufgrund der Corona-Pandemie seit März 2020 ausgesetzt werden und sollen während der Aufstockungsperiode bis zum 31.12.2020 durchgeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Untersuchungszeitraum werden weiterführende Arbeiten zur Retention von einzelnen Elementen und Elementgemischen an C-S-H-Phasen in Batch-Versuchen durchgeführt. Zudem wird der Einfluss von PBTC während der C-S-H-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 C-S-H-Phasen mittels MSE durchgeführt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jost, R. (2020): Einfluss von Zementzusatzstoffen auf die Rückhaltung von ausgewählten Elementen des WASTE-Cocktails an Zementstein unter hyperalkalinen und hochsalinaren Bedingungen. Vertiefungsarbeit Analytik, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, Universität des Saarlandes

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 E 11415E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.05.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 31.05.2020	
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

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

Untersuchungen zur Sorption von Actinoiden an C-S-H-Phasen (AP1.3) wurden für Cm(III) fortgesetzt. Ergänzend zum bisherigen Modell 14 Å-Tobermorit wurden exemplarische Sorptionskomplexe in der Zwischenschicht sowie der Einbau in die CaO-Schicht von Hamid- und Merlino-11 Å-Tobermorit mit C/S = 0.75 modelliert. Die berechnete Koordinationszahl (CN) von 6-7 der Cm-O-Bindungen entspricht experimentellen Befunden für Eu und Nd in Merlino-Tobermorit und C-S-H. Der mittlere Abstand Cm-O ist für Sorption in der Zwischenschicht und Einbau ähnlich. Etwas kürzere Abstände werden bei der Adsorption an Defekt-

stellen aufgrund etwas niedrigerer CN erhalten. Cm-Si-Abstände wurden zu etwa 320, 350 und 380 pm berechnet, ohne deutliche Unterschiede zwischen Sorption und Einbau. In EXAFS-Ergebnissen für Eu und Nd fehlt der mittlere dieser Abstände und für den längsten werden höhere CN gemessen als berechnet. Kürzere Abstände Cm-Ca entsprechen gemessenen Werten, es werden jedoch auch längere, im Experiment fehlende, berechnet. Gemessene CN für Eu-Ca und Nd-Ca sind niedriger als der für einen Einbau in die CaO-Schicht zu erwartende und berechnete Wert von 6-7. Dies legt nahe, dass für An(III) sowohl Sorption in der Zwischenschicht als auch Einbau vorkommt, in Übereinstimmung mit Interpretationen von TRLFS-Experimenten, die zwei Spezies nachweisen. Berechnete Energien der Sorption von Cm(III) favorisieren leicht den Einbau in die CaO-Schicht, hängen jedoch vom Tobermoritmodell ab. Zum Vergleich mit EXAFS-Spektren für Am(III) in C-S-H des Projektpartners Dresden-Rossendorf wurden für einige Sorptionskomplexes des Cm mittlere Geometrien durch dynamische Modellierungen bei Raumtemperatur berechnet, aus denen dann EXAFS-Spektren berechnet wurden. Die beste qualitative Übereinstimmung mit dem Experiment ergibt sich für Cm in der CaO-Schicht für Merlino-11 Å- und 14 Å-Tobermorit sowie für einen Platz in der Zwischenschicht für 14 Å-Tobermorit, die auch tendenziell niedrige Energien aufweisen. Ein genauerer Vergleich der Ergebnisse ist vorgesehen.

AP2.2 Ternäre Komplexe mit Lösungskationen

Arbeiten zu ternären Actinoidenkomplexen der Klasse $M\text{-An}(\text{OH},\text{CO}_3)$ mit Lösungskationen M (AP2.2), die bei erhöhter Salinität und hohem pH relevant sind, befassten sich mit verbesserten Komplexmodellen sowie auf Anregung des Projektpartners Karlsruhe mit den Komplexen $[\text{Mg}_n\text{Am}(\text{OH})_m]^{3+2n-m}$, $(m,n) = (1,2), (1,3), (2,4)$ und $(3,6)$. Die in bisherigen Komplexmodellen allein mit einem polarisierbaren Kontinuumsmodell beschriebene Solvation der Lösungskationen der Komplexe wurde durch explizite Wasserliganden ergänzt. Dies führt im Allgemeinen zu tieferen Komplexierungsenergien. Für $[\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3]^{2-}$ werden mit dem verbesserten Modell gemessene exotherme Komplexierungsenergien etwas überschätzt während nur geringe Effekte auf die Geometrie gefunden werden. Für die Komplexe $[\text{CaU}(\text{CO}_3)_3]^0$ mit $\text{CN}(\text{U}) = 6$ und 7 ergaben sich im Gegensatz zum einfachen Komplexmodell äquivalente Strukturen mit dreifach an die Carbonatliganden koordiniertem Ca mit dem typischen Abstand U-Ca von etwa 350 pm. Trotz leichter Stabilisierung durch explizite Solvation wurde die Bildung aus U(IV)-Tricarbonat und einem Ca-Ion als leicht endotherm berechnet. Für die Komplexe $[\text{Ca}_n\text{Th}(\text{OH})_8]^{2n-8}$, $n = 2$ und 4 führt die explizite Solvation der Ca-Ionen zu sehr ähnlichen Geometrieparametern, die beide mit Messungen für $n = 4$ verträglich sind. Die bisher unbekanntenen Komplexe $[\text{Mg}_n\text{Am}(\text{OH})_m]^{3+2n-m}$ zeigen wie die bereits vorgeschlagenen Ca-Komplexe recht ähnliche Geometrieparameter, was eine Unterscheidung im Experiment erschwert. Bisher erhaltene Komplexierungsenergien deuten auf eine etwas geringere Stabilität im Vergleich mit den Ca-Spezies hin.

4. Geplante Weiterarbeiten

Projekt beendet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Kremleva, S. Krüger, N. Rösch: Uranyl(VI) sorption in calcium silicate hydrate phases. A quantum chemical study of tobermorite models. *Appl. Geochem.* 113 (2020), 104463

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 30.09.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 547.032,00 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

Die Präparation des Probensatzes zur Untersuchung des Einflusses der Kontaktzeit (1 - 90 Tage), des pH -Wertes ($pH = 10 - 12$) und des Hintergrundelektrolyten (Milli-Q-Wasser, 2.6 M NaCl-Lösung, verd. Gipshut-Lösung) auf die Interaktion zwischen einer Eu(III) Lösung mit Ca-Montmorillonit (AP2) wurde abgeschlossen und umfasst 45 getrocknete Tonproben sowie die jeweiligen Überstände, welche ein Raster dieser Parameter abbilden. In der Bestimmung der pH -Werte der Überstände nach der Trennung vom Ton zeigte sich, dass unabhängig vom Hintergrundelektrolyten, bereits nach einem Tag, eine Abnahme des pH -Wertes zu verzeichnen war. Dieser fiel über 90 Tage für alle $pH = 12$ Proben nur minimal weiter ab, während für alle $pH = 11$ Proben ein deutlicherer Abfall zu verzeichnen war. Dieser scheinbar stärkere Effekt bei $pH = 11$ ist jedoch durch die logarithmische Natur der pH -Wert Skala zu erklären. Für alle pH -Werte von 10 konnte nach anfänglichem Abfall ein anschließender Anstieg der pH -Werte ermittelt werden. Weitere Untersuchungen der Feststoffe mittels zeitaufgelöster Laserspektroskopie (TRLFS) unter Tieftemperatur-Bedingungen (4 K) sowie anschließender PARAFAC Analyse, bestätigen frühere Ergebnisse zweier oberflächensorbierter Eu(III) Spezies, welche in Aluminol- sowie Silanol Kationensorption aufzuteilen sind sowie die Existenz einer Einbauspezies in eine Sekundärphase.

Zur weiteren Untersuchung des Quenchverhaltens von Uranyl(VI) durch Chloridionen mittels der Transienten-Absorptionsspektroskopie (AP4) wurden Uranyl(VI)-Chlorid-Lösungen bei hohen Konzentrationen und Ionenstärken (1 M Chlorid) in Wasser, Acetonitril, und einer Mischung beider Lösungsmittel gemessen. Es konnte festgestellt werden, dass in Folge des Redoxprozesses (LMCT) sich ein Solvent-Separated-Kontaktpaar (Outer-Sphere-Komplex), bestehend aus Uranyl(V) und Cl_2^- , bildet. Dieses ist in Wasser instabil und führt zur Bildung zweier vollständig getrennter Ionen und zum quenchen von Uranyl(VI), während in Acetonitril dieser Komplex stabilisiert wird und im Gleichgewicht mit angeregtem Uranyl(VI) steht und die Lumineszenz des Komplexes ermöglicht.

Für die weiterführenden mechanistischen Untersuchungen zum Einfluss von Eisen auf die Lumineszenz von Lanthanoiden wurde in einer Mikrowellen-gestützten Synthese Polyethylenimin-stabilisierte Nanopartikel hergestellt. Die Synthese erlaubt dabei eine Dotierung mit Neodym, Ytterbium und auch Eisen in unterschiedlichen Anteilen. Lumineszenzuntersuchungen wurden durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Tieftemperatur TRLFS Messungen werden für den Probensatz abgeschlossen. Mittels PARAFAC wird aus diesen Datensätzen ein Gesamtbild über die pH -Wert, Ionenstärke sowie Kontaktzeitabhängigkeit der beobachteten Eu(III)-Spezies in Ca-Montmorillonit abgeleitet. 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.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 11415G
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.05.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 31.05.2020	
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 Actinidenspeziation, d) Erweiterung des bisherigen Wissenstandes zur Wechselwirkung von An/Ln mit Boratspezies in alkalinen Lösungen inklusive der Identifizierung von borathaltigen Sekundärphasen, e) Machbarkeitsstudie zur Sorptionskalorimetrie von Ln an endlagerelevanten festen Phasen zur direkten Ermittlung von Sorptionsenthalpien

Das Forschungsvorhaben erfolgt in enger Kooperation mit den Projekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam und Heidelberg sowie dem Institut für Ressourcenökologie vom 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 Auswerterroutinen 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

Für eine vertiefte und vergleichende pXRD-Charakterisierung wurden verschiedene Eu(III)/Nd(III) dotierte, ligandhaltige Calcium-Aluminat-Hydratphasen (C-A-H) sowie Eu(III)/Nd(III) dotierte, ligandhaltige Calcium-Silikat-Hydratphasen mit unterschiedlichen C/S-Verhältnis hergestellt und entsprechend aufbereitet. Die XRD-Untersuchungen wurden am HZDR durchgeführt. Die Messungen konnten noch nicht ausgewertet werden. Die Arbeiten konnten aufgrund der Corona-Pandemie und der damit verbundenen Schließung der Labore an der TU Dresden und am HZDR nicht fortgesetzt werden.

Erstellung eines Drafts einer Publikation “*A spectroscopic study of the An(III)/Ln(III) uptake by calcium silicate hydrates under the influence of malate*” zu den spektroskopischen Arbeiten im ternären Ln/An-Malat-CSH-System.

Anfertigung des Abschlussberichtes. Da das Projekt zum 31.05.2020 auslief, wurde mit der Anfertigung des Abschlussberichtes begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt endete zum 31.05.2020, die projektbearbeitende wissenschaftliche Mitarbeiterin Frau F. Taube war bis 31.03.2020 beschäftigt. Die experimentellen Arbeiten wurden beendet. Derzeit werden restliche Untersuchungen zu Wechselwirkungen von Ln(III) mit Calcium-Aluminat-Hydratphasen durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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 31.08.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: TRIFS 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

Im Rahmen des Arbeitspakets „radiolytische Stabilität von Superplasticizern“ wurden in Kooperation mit der Chalmers Universität (Göteborg) und der Universität Mainz (Herr Dr. Amari) weitere kurz- und langkettige Polycarboxylate bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgte mit einer Co-60 Quelle über einen Zeitraum von zwei Monaten einer Dosisleistung von ca. 0.7 kGy/d. In Zusammenarbeit mit dem organisch-chemischen Institut der Universität Heidelberg wurden die bestrahlten Proben massenspektrometrisch untersucht, wobei die Identifikation kleiner Zersetzungsprodukte im Fokus stand. Die Ergebnisse dieser massenspektrometrischen Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass unter den verwendeten Bedingungen (Bestrahlungsdauer und Dosisleistung) für alle untersuchten Polycarboxylate keine radiolytische Zersetzung dieser Makromoleküle auftrat.

In Ergänzung zu den thermodynamischen Studien (siehe Projektbericht Januar 2020) wurden Untersuchungen zur Strukturaufklärung von Np-Lactatkomplexen mittels EXAFS- und ATR-FT-IR-Spektroskopie sowie quantenchemischer Berechnungen durchgeführt. Die pH-abhängigen EXAFS-Untersuchungen zeigen, dass der experimentell erhaltene C_c -Abstand mit steigendem pH-Wert von 2.98 auf 3.38 Å steigt. Die Werte bei niedrigen pH-Werten entsprechen somit einer End-on-Koordination des Lactats, die bei höheren pH-Werten einer Side-on-Koordination. Die experimentellen Daten stehen dabei in sehr guter Übereinstimmung mit den quantenchemischen Berechnungen, die identische C_c -Abstände liefern. Damit konnte gezeigt werden, dass für die Np-Komplexe eine pH-Abhängigkeit der Koordinationsmoden vorliegt. Diese Ergebnisse wurden zusammen mit den Ergebnissen der thermodynamischen Untersuchungen in einem Manuskript zusammengefasst und zur Publikation eingereicht.

Vergleichbare strukturelle Untersuchungen mittels EXAFS- und ATR-FT-IR-Spektroskopie sowie quantenchemischer Berechnungen wurden auch für Np-Oxalat-Komplexe durchgeführt. Durch Komplextierungsuntersuchungen mittels UV/Vis Spektroskopie wurde die Bildung von 1:1- und 1:2-Komplexen nachgewiesen und die Stabilitätskonstanten $\log \beta^0_1 = 4.53 \pm 0.12$ und $\log \beta^0_2 = 6.22 \pm 0.24$ bestimmt. Die Ergebnisse der Strukturaufklärung zeigen, dass für beide Np-Oxalatkomplexe die Liganden chelatisierend (*Side-On*) über beide COO^- -Gruppen an das NpO_2^+ koordinieren. Eine Publikation dieser Ergebnisse wurde ebenfalls eingereicht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Publikation der thermodynamischen sowie strukturellen Daten zur Komplextierung von Np(V) mit Malat und Succinat.
- Publikation der thermodynamischen sowie strukturellen Daten zur Komplextierung von Np(V) mit Malat und Tartrat

5. Berichte, Veröffentlichungen

Maiwald, M. M., Dardenne, K., Rothe, J., Skerencak-Frech, A., Panak, P. J., Thermodynamics and structure of Np(V) complexes with formate. A spectroscopic and theoretical study, *Inorg. Chem.* 59/9, 6067-6077 (2020)

Maiwald, M. M., Trumm, M., Dardenne, K., Rothe, J., Skerencak-Frech, A., Panak, P. J., Speciation, thermodynamics and structure of Np(V) oxalate complexes in aqueous solution, submitted to *Dalton Trans*

Maiwald, M. M., Müller, K., Heim, K., Trumm, M., Fröhlich, D. R., Banik, N. L., Rothe, J., Dardenne, K., Skerencak-Frech, A., Panak, P. J., Determination of thermodynamic functions and structural parameters of NpO_2^{2+} lactate complexes, submitted to *Inorg. Chem.*

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 überarbeitete der ZE seine Modellierung der Dilatanz- und Schädigungsentwicklung und des Schädigungseinflusses auf die Spannungs- und Verformungsentwicklung im Steinsalz mit dem CDM. Die neue Formulierung erlaubt eine erheblich einfachere Ermittlung der zugehörigen Parameterkennwerte anhand von Laborversuchsergebnissen. Dazu rechnete der ZE eine Reihe von Kriech- und Festigkeitsversuchen mit WIPP-Steinsalz aus dem IfG-Labor nach. Mit den Kennwerten für diesen Salztyp wurden zahlreiche Berechnungen durchgeführt, u. a. zur Schädigungsrückbildung („Verheilung“) von Steinsalz in AP2 und zum Virtuellen Demonstrator in AP5.

Im Berichtszeitraum beteiligte sich der ZE an dem Projektworkshop Nr. 22 am 27.-28.01.2020 in Goslar. Aufgrund der COVID-19-Pandemie fanden im Berichtszeitraum keine weiteren Workshops und persönliche Treffen der Projektpartner statt.

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 und dem zweiten Demonstratormodell durchgeführt.

Auf im zweiten Halbjahr 2020 hoffentlich wieder möglichen Projektworkshops werden die Partner ihre Ergebnisse präsentieren und daraus folgende Arbeiten festlegen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Nachweiskonzeptes“ (KOSINA) auf. Da dort keine Laboruntersuchungen und Weiterentwicklungen der Stoffmodelle durchgeführt werden, bilden die Arbeiten in diesem Verbundprojekt eine notwendige methodische Absicherung und wichtige Ergänzung der in beiden Vorhaben eingesetzten geomechanischen Rechenverfahren und Datensätze.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum führten die Partner vom 27. bis 28. Januar den 22. Projekt-Workshop in Goslar durch. Weitere im Berichtszeitraum geplante Workshops konnten infolge der CORONA-bedingten Schutzmaßnahmen nicht realisiert werden.

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

Außerdem realisiert das IfG die Planung und Durchführung der Laborversuche zur Ableitung der Kriechparameter bei kleinen Deviatorspannungen (AP1), wozu u. a. die Entwicklung und der Bau von drei neuartigen Versuchsständen für Kriechversuche erfolgte sowie zur Ermittlung der Wirkung einer Vorschädigung auf das Zugversagen (AP3).

Auf dem Projekt-Workshop wurden die neuesten Ergebnisse eines bereits über 3 Jahre laufenden Kriechversuches 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, die über das gesamte 1. Halbjahr 2020 fortgesetzt wurde, konnten im Rahmen der Messgenauigkeit keine Kriechverformungen mehr gemessen werden. Dieser Versuch konnte mit dem G/S-Stoffmodell in guter Übereinstimmung nachgerechnet werden.

Der Versuch an den neuartigen Kriechversuchsständen bei einer Deviatorspannung von 2 MPa wird 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. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurden zwei neue Versuche mit Deviatoren von 1 und 3 MPa gestartet.

Die drei mit konventionellen Geräten zusätzlich angesetzten Temperaturwechselversuche mit Deviatoren von 1, 3 und 5 MPa haben die Konsolidierungsphase von 100 d beendet und wurden Anfang Juni mit dem Deviator belastet.

Weiterhin hat das IfG im Berichtszeitraum am Aufbau eines 2. virtuellen Demonstrator gearbeitet sowie verbesserte Modellierungen mit dem 1. virtuellen Demonstrator (AP5) realisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im 2. Halbjahr 2020 werden alle Kriechversuche entsprechenden den abgestimmten Planungen fortgesetzt.

Das IfG stellt den 2. virtuellen Demonstrator zur Untersuchung des Entfestigungsverhaltens im Firstbereich von Stecken in Anlehnung an das Hauptstreckensystem der WIPP-site fertig.

Die numerischen Arbeiten zum Verformungsverhalten infolge von Extensionsbelastung, zur Verteilung sowie mit beiden virtuellen Demonstratoren werden fortgesetzt bzw. begonnen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 un-tertägigen Steinsalzformationen weiterzuentwickeln und für die Anwendung zu qualifizieren, um die Zuverlässigkeit langzeitiger gebirgsmechanischer Prognosen zu verbessern. Als assoziiertes 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

In dem Berichtszeitraum hat der Zuwendungsempfänger ihm vom Projektpartner TUC zur Verfügung gestellte aktuellen Labordaten zum Verheilungsverhalten von Steinsalz ausgewertet, die neuen und bereits vorhandenen Verheilungsversuche mit dem von ihm verwendeten und während der Projektlaufzeit weiterentwickelten Stoffmodell Lubby-CF nachberechnet und mit dem neuen Kenntnisstand einen neuen Kennwertsatz für Lubby-CF bestimmt. Mit dem neuen Kennwertsatz hat der Zuwendungsempfänger unter anderem die Simulationsberechnungen am 9-Element-Würfelmodell weitergeführt und die Untersuchung zur richtungsabhängigen Beschreibung des Schädigungs- und Verheilungsverhalten mit dem Stoffmodell Lubby-CF beendet. Des Weiteren wurden weitere Berechnungen am Virtuellen Demonstrator durchgeführt. Der Zuwendungsempfänger hat zudem bereits mit der Bearbeitung des Endberichtes begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird, soweit durch die aktuelle Lage möglich, weiterhin an Workshops teilnehmen. Die Simulationsberechnungen zum virtuellen Demonstrator sollen abgeschlossen werden. Weiterhin wird der Zuwendungsempfänger am neuen virtuellen Demonstrator II arbeiten 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 untätigen 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 wurde aufgrund der Corona-Pandemie lediglich ein Workshop in Goslar (27./28.01.20) durchgeführt.

Im Berichtszeitraum wurden zwei weitere Versuchsreihen zur Verheilung, die an der TUC durchgeführt wurden, nachgerechnet. Insgesamt scheint eine Parameteranpassung für Asse-Speisesalz in Hinsicht auf die verschiedenen Versuche (Festigkeits-, Kriech- und Verheilungsversuche) sinnvoll. Derzeit erfolgt die Modifikation des Parametersatzes.

Des Weiteren wurden verschiedene Berechnungen mit dem Modell des Virtuellen Demonstrators der LUH durchgeführt. So wurden beispielsweise der aufgefahrene Hohlraum unterschiedlich simuliert und die Auswirkung der Berechnungsart („small strain“/„large strain“) auf die Berechnungsergebnisse überprüft.

4. Geplante Weiterarbeiten

Es soll ein für alle Versuche geeigneter Parametersatz bestimmt werden. Kommt es zu Zielkonflikten, so sind eventuell Anpassungen im Stoffmodell vorzunehmen.

Des Weiteren soll in Kürze ein zweiter virtueller Demonstrator vom IfG zur Verfügung gestellt werden, der dann von allen Partnern mit ihren jeweiligen Stoffmodellen zu berechnen ist. Sollten sich weitere Lockerungen hinsichtlich der Beschränkungen seitens Bund und Länder ergeben, sind Projekttreffen in Form von Workshops geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 27./28. Januar in Goslar den 22. Projekt-Workshop durch. Auf dem 22. Workshop mit Teilnahme des assoziierten Projektpartners Sandia National Laboratories Albuquerque wurden aktuelle Projektthemen sowie die WEI-MOS-Präsentationen in Goslar diskutiert. Auf dem Workshop wurden von den Partnern aktuelle Projektthemen mit Fokussierung auf Arbeiten in AP2, AP3 und AP5 vorgestellt und diskutiert.

Der Zuwendungsempfänger stellte in diesem Zusammenhang die laborativen Arbeiten zur Schädigungsrückbildung (AP2) vor. Aus den prüfmaschinensteuerlichen Gründen wurde das im Vorhinein geplante Versuchsprogramm auf die technischen Gegebenheiten angepasst. 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 4b) im März beendet und Serie 4c) wurde im Mai gestartet.

Darüber hinaus wurde auf dem 22. Workshop die Stoffmodellfunktionalität in ihrer Schädigungsentwicklung bei Zugspannungsversagen durch Simulationen eines Biegebalkenmodells jeweils mit einer mittigen Auflast und zwei Auflasten in etwa den Drittelpunkten dargestellt und die Ergebnisse zwischen den Projektpartnern verglichen und diskutiert. Weiterhin wurde der Schädigungsansatz für Zugspannungen modifiziert. Darüber hinaus wurden im Berichtszeitraum direkte Zugversuche (AP3) mit Klebstoff an intakten und im TC-Versuch vorgeschädigten Salzprüfkörpern durchgeführt. Dadurch soll die Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Dilatanz untersucht werden. Die Laborergebnisse dienen als Grundlage für die Modifikation des Zugansatzes und für die Bestimmung der Material-Parameter.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Berechnungen mit verschiedenen Simulationsmethoden zum virtuellen Demonstrator (AP5) durchgeführt. Auf dem 22. Workshop wurden die Simulationsergebnisse präsentiert und diskutiert. Die Arbeiten mit dem virtuellen Demonstrator sind in der Folgezeit fortgeführt worden mit nachstehenden Schwerpunkten: Übergang auf Version FLAC 7.0, Übergang auf Stoffmodell Lux/Wolters/Lerche, Übergang auf ein neues Schädigungsmodell für Zugspannungen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Zuwendungsempfänger wird weitere numerische Simulationen zum Virtuellen Demonstrator (AP5) durchführen und die erfolgten laborativen Arbeiten von Verheilungsversuchen und Zugversuchen auf dem nächsten Workshop präsentieren. Die Verheilungsversuche werden gemäß der aktualisiert vereinbarten Planung fortgesetzt (4 Versuche mit Asse-Salz bei $T = 70\text{ °C}$, 4 Versuche mit Wipp-Salz bei $T = 35\text{ °C}$). Darüber hinaus werden die Festigkeitsversuche an Salzprüfkörpern, die bei der vierten Serie geschädigt und verheilt wurden, gemäß Planung 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 31.03.2022	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.758.255,00 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, Lokalisie-

rung von Problemen, Programmkommentare, Konventionen, Review des Programm-codes. 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

AP2: Folgende Konzepte wurden ausgearbeitet:

- Modelle für transportrelevante Prozesse,
- Massenbilanzierung für die in zwei Fluidphasen transportierten Komponenten,
- Entkopplung der Berechnungen von Zweiphasenfluss und Radionuklidtransport,
- Abbildung der Abhängigkeiten in Diffusion, Viskosität und Henry-Koeffizienten (Phasenwechsel) unterschiedlicher Komponenten/Phasen von anderen Systemparametern wie Temperatur, Druck und Fluidzusammensetzung,
- Modell für die Berechnung des Dampfsättigungsdrucks.

Zur Generierung eines Rechengitters von einem Modellgebiet wird zurzeit der Gittergenerator blockMesh verwendet, der wenig benutzerfreundlich ist. Ein benutzerfreundlicher Gittergenerator soll blockMesh ersetzen oder als Vorbereitungstool für blockMesh benutzt werden. Es wurden mehrere potenzielle Gittergeneratoren evaluiert. Eine Entscheidung steht noch aus.

XENIA-Module, die für die Definition eines Nahfeld-Rechenlaufs erforderlich sind, wurden weiterentwickelt.

AP3: Mit der Umsetzung von den im Arbeitspaket 2 beschriebenen Konzepten wurde begonnen.

Die Umsetzung von bereits existierenden Konzepten wurde fortgesetzt.

AP4: Es wurden umfangreiche Testrechnungen bezüglich bereits umgesetzter Aspekte durchgeführt. Die vorhandene Bibliothek von automatischen Testfällen wurde entsprechend der aktuellen Entwicklung angepasst und durch neue Testfälle erweitert.

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

AP6: 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.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 469.799,00 EUR	Projektleiter: Dr. Wolf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Vorhaben BASEL 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: Die im Vorhaben erarbeiteten Grundzüge des Sicherheitskonzeptes für die Betriebsphase eines Endlagers wurden in den Entwurf des Syntheseberichtes integriert (siehe AP7).

AP4: Es wurde ein Entwurf eines Berichtes zur Zusammenstellung eines Kataloges mit FEP beim Bau und Betrieb eines Endlagers erstellt. In diesem Bericht erfolgt neben der Darstellung der Endlagerkonzepte und der zugehörigen FEP vor allem eine Bewertung dieser FEP und der über sie abgeleiteten Einwirkungen von Innen (EVI) hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Langzeitsicherheit.

Darüber hinaus wurden auch Maßnahmen zur Beherrschung von EVI abgeleitet und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Nachverschlussphase gemeinsam mit BGE TECHNOLOGY diskutiert und bewertet. Die Ergebnisse der Bewertung wurden im Bericht zur Ableitung von EVI dokumentiert (siehe AP7).

AP6: Es wurde gemeinsam mit BGE TECHNOLOGY eine Bewertung der im Vorhaben BASEL erstellten Werkzeuge zur Bewertung der Abhängigkeiten zwischen Betriebs- und Nachverschlussphase durchgeführt. Die Ergebnisse der Bewertung wurden in den Abschlussberichten dokumentiert (siehe AP7).

AP7: Es wurde mit der Erstellung der drei Abschlussberichte begonnen: Synthesebericht, FEP-Katalog inkl. Bewertung des Einflusses auf die Nachverschlussphase und Ableitung von EVI.

Die Arbeiten zu AP1, AP3 und AP5 (Überprüfung der Ergebnisse am Ende des Vorhabens) sind abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP7: Fertigstellung der Dokumentation der Arbeitsergebnisse aus dem Vorhaben BASEL in den folgenden drei Berichten:

Synthesebericht

FEP-Katalog inkl. Bewertung des Einflusses auf die Nachverschlussphase und Ableitung von EVI und von Maßnahmen zur Beherrschung der EVI.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 fertig gestellt.
- AP3: Der FEP-Katalog wurde entsprechend der Systembeschreibungen und Beschreibungen der Betriebsabläufe für die übertägigen Anlagen vervollständigt.
- AP4: Technische und organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Reduzierung der Konsequenzen von EVI wurden identifiziert und bewertet.
- AP6: Die systematische Ableitung von Einwirkungen von Innen (EVI) durch Verknüpfungen der Komponenten mit allen Prozessen wurde zu Ende geführt. Weiterhin wurde die Ableitung von EVI durch eine Verknüpfung zweier EVI bzw. eines EVI und eines EVA (Einwirkung von außen) exemplarisch durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einem AP-Bericht zusammengefasst.
- AP7: Es wurde damit begonnen, alle Ergebnisse des Vorhabens in einem Abschlussbericht zusammenzufassen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Abschließende Prüfung des FEP-Katalogs und Erstellung eines Berichtes. Fertigstellung des EVI-Berichtes.
- AP4: Dokumentation der Technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Reduzierung der Konsequenzen von EVI.
- AP5: Bewertung der Wechselwirkungen zwischen Betriebs- und Nachverschlussphase.
- AP7: Erstellung des Abschlussberichtes zum Gesamtvorhaben BASEL.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.04.2020	
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

AP5: Kombinierte elektrochemische Versuche mit Synchrotron XPS-Analysen

Eine vollständige Auswertung der spektroskopischen Ergebnisse an der SoLias-Anlage in Bessy II wurde durchgeführt. Die Rumpfniveau-Signale der Stahlelemente wurden mittels der Software UNIFIT (Version 2019) entfaltet. Den Ergebnissen zufolge wird der Durchbruch der Passivität durch das Eindringen von adsorbierten Chloridionen zu der Metall-Oxid-Grenzfläche durch die äußere Chromoxidschicht verursacht. Dieser Prozess wird durch die konkurrierende Adsorption von Sulfationen und möglicherweise durch die Ablagerung von CaSO_4 auf der Oxidoberfläche entgegengewirkt.

AP6: Vorexperimente zur Korrosion in Porenwasser-Bentonit-Milieus

Die Konstruktion der Bentonit-Zelle für die Untersuchungen von Stahlkorrosion in Kontakt mit gesättigten Bentonit wurde erfolgreich durchgeführt. Leider konnte mit den elektrochemischen Experimenten mit dieser Zelle aufgrund der Covid-19-Pandemie noch nicht begonnen werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes.

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: 01.01.2020 bis 30.04.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.748,00 EUR	Projektleiter: Dr. Finck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Es wurden aufgrund der Corona-Krise und hiermit verbundenen Schließung von Laborräumen des KIT-INE keine weiteren Korrosionsexperimente mittels elektrochemischer Methoden durchgeführt. Ein Manuskript zu bereits vorliegenden Ergebnissen wird fertiggestellt.

AP2: Ein Manuskript zur C-Stahl Korrosion in Lösungen mit hoher Ionenstärke, anoxischen Bedingungen und einer Temperatur von 90 °C ist in Bearbeitung.

Die Dissertation der innerhalb von KORSO angefertigten Doktorarbeit von Frau Morelová wurde erstellt und die Doktorarbeit im Juli 2020 erfolgreich verteidigt.

Magnetit und weißer Rost ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) wurden in Abwesenheit und in Anwesenheit von $\text{Eu}(\text{III})$ synthetisiert, und die Proben eingehend analysiert. Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss der Anwesenheit von $\text{Eu}(\text{III})$ auf die Syntheseprozesse und eine nahezu quantitative Rückhaltung vom Lanthaniden (Konzentration ca. 1000 ppm) an Magnetit.

Ein weiteres Manuskript über theoretische Rechnungen zum Einbau dreiwertiger Actinide in Grüner-Rost Phasen ist derzeit noch in Bearbeitung.

Im Rahmen der Verlängerungsphase von KORSO wurden Proben aus C-Stahl und CrNi-Stahl in Kontakt mit Bentonit unter anoxischen Bedingungen bei 65 °C korrodiert. Die Datenauswertung wurde abgeschlossen. Es konnte keine Änderung des Bentonits im Kontakt mit dem CrNi-Stahl festgestellt werden. Auf der Stahloberfläche wurde eine Cr_2O_3 -Schicht gebildet. Bei längerer Kontaktzeit mit C-Stahl hatte der Bentonit nahe der Oberfläche eine blaue/graue Farbe angenommen. Eine signifikante Änderung des Tons oder die Neubildung einer Fe-Phase konnte mit XRD nicht festgestellt werden. Wahrscheinlich ist dieses Verhalten mit dem kleinen Probenvolumen bzw. geringen Kristallinität der neugebildeten Phase begründet. XPS Analysen der Stahloberfläche zeigten die Anwesenheit von $\text{Fe}(\text{II})$ und bei längeren Kontaktzeiten zudem die Anwesenheit von $\text{Fe}(\text{III})$ auf dem Probenmaterial

Die Erstellung des Projektabschlussberichts für KIT-INE wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Da die Laufzeit des Vorhabens abgelaufen ist, sind keine weiteren Arbeiten geplant. Fokus liegt auf der Erstellung und Einreichung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Die Dissertation der innerhalb von KORSO angefertigten Doktorarbeit von Frau Morelová wurde erstellt und die Doktorarbeit im Juli 2020 erfolgreich verteidigt.

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: 01.01.2020 bis 30.04.2020	
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

Im Mittelpunkt der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten standen die finale Überarbeitung und Abstimmung der Berichtsentwürfe zu den Arbeitspaketen 1 bis 4 sowie die Erstellung des zusammenfassenden Abschlussberichtes (Synthesebericht) in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner BAM. Schwerpunkt für BGE TECHNOLOGY war dabei zum einen die Kommentierung der Berichte vom Kooperationspartner BAM zum AP1 „Nationaler und Internationaler Stand zu existierenden Anforderungen und Konzepten für Endlagerbehälter“ und AP4 „Betrachtungen zu möglichen Endlagerbehälterkonzepten“ sowie die dazu notwendigen Diskussionen. Zum anderen wurden im Berichtszeitraum Entwürfe für Kapitel des Syntheseberichtes geschrieben und mit dem Kooperationspartner abgestimmt.

Am 19.02.2020 wurde auf Einladung des Projektträgers PTKA, in Abstimmung mit dem BMWi und in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner BAM in Berlin ein Workshop mit allen wichtigen Stakeholdern zur Vorstellung und Diskussion der vorläufigen Projektergebnisse durchgeführt. Hierfür wurden zahlreiche Poster und Präsentationen erstellt. Die Diskussionsergebnisse wurden nachfolgend in die abschließende Überarbeitung der Berichtsentwürfe einbezogen.

In regelmäßigen Projektgesprächen sowie in Telefonkonferenzen wurde der Arbeitsfortschritt mit dem Kooperationspartner BAM ausgetauscht, diskutiert und das weitere Vorgehen abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung und Veröffentlichung der Berichte zu den Arbeitspaketen 2 und 3 und des zusammenfassenden Abschlussberichtes (Synthesebericht) gemeinsam mit dem Kooperationspartner BAM (letzterer in deutscher und englischer Sprache).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Rahmen des Informationsgespräches des PTKA am 19.02.2020 bei der BAM in Berlin wurden von der BGE TECHNOLOGY zum Gesamtprojekt und zu den Arbeitspaketen folgende Vorträge gehalten:

- Vortrag zur Übersicht des Vorhabens - Warum KoBrA?
- Vortrag zum AP2 „Randbedingungen und Einwirkungen aus Geologie und Handhabung“
- Vortrag zum AP3 „Herleitung von Behälteranforderungen“

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: 01.01.2020 bis 30.04.2020	
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

Im Mittelpunkt der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten standen die finale Überarbeitung und Abstimmung der Berichtsentwürfe zu den Arbeitspaketen 1 bis 4 sowie die Erstellung des zusammenfassenden Abschlussberichtes (Synthesebericht) in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY GmbH.

Inhaltlicher Schwerpunkt seitens der BAM war im Rahmen des Arbeitspaktes 4 die Ausarbeitung einer Methodik für den Vergleich verschiedener Behälterkonzepte und für Betrachtungen zu deren Übertragbarkeit auf unterschiedliche Endlagerkonzepte. Schließlich wurde eine Methodik für die Erstellung anforderungsgerechter generischer Behälterkonzepte erarbeitet und exemplarisch angewendet.

Am 19.02.2020 wurde auf Einladung des Projektträgers PTKA, in Abstimmung mit dem BMWi und in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY GmbH bei der BAM in Berlin ein Workshop mit allen wichtigen Stakeholdern zur Vorstellung und Diskussion der vorläufigen Projektergebnisse durchgeführt. Hierfür wurden zahlreiche Poster und Präsentationen erstellt. Die Diskussionsergebnisse wurden nachfolgend in die abschließende Überarbeitung der Berichtsentwürfe einbezogen.

In regelmäßigen Projektgesprächen mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY GmbH wurden der Projektfortschritt vorgestellt und die jeweils weiteren Arbeitsschritte diskutiert und vereinbart.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung und Veröffentlichung der Berichte zu den Arbeitspaketen 1 bis 4 und des zusammenfassenden Abschlussberichtes (Synthesebericht) gemeinsam mit dem Kooperationspartner BGE TECHNOLOGY GmbH (letzterer in deutscher und englischer Sprache).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Rahmen des Informationsgespräches des PTKA am 19.02.2020 wurden von der BAM zu den Arbeitspaketen und zum Gesamtprojekt folgende Poster erstellt und Vorträge gehalten:

- Vortrag zum AP1 „Internationale Behälterkonzepte und Behälteranforderungen“
- Vortrag zum AP4 „Betrachtungen zu möglichen Endlagerbehälterkonzepten“
- Poster zum AP1 „FuE-Vorhaben KoBrA: Nationaler und Internationaler Stand zu existierenden Anforderungen und Konzepten für Endlagerbehälter“
- Poster zum AP4 „FuE-Vorhaben KoBrA: Betrachtungen zu möglichen Endlagerbehälterkonzepten“
- Poster zum top-down-Ansatz im Vorhaben KoBrA (gemeinsam mit BGE TECHNOLOGY)

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 31.07.2020		Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 wurden die im Vorhaben zusammengestellten Konzepte und Erfahrungen aus reversiblen (Entscheidungs-)Prozessen eingeordnet und detailliert ausgewertet. In die Auswertung konnten auch wichtige Hinweise aus der Abschlusskonferenz am 11./12.2.20 in Berlin aufgenommen werden. So wurden dort speziell auch zu den Themen Expertendissens, Reversibilität und Lernendes Verfahren interessante Beiträge aus der Praxis zur möglichen Verbesserung von Rahmenbedingungen der Gestaltung des Standortauswahlverfahrens im Hinblick auf Transparenz und Partizipation diskutiert. Diese Beiträge haben – nach intensiver Reflexion durch das Forschungsteam - auch die Formulierung von Schlussfolgerungen unterstützt und konnten in Handlungsempfehlungen umgesetzt werden.

Es fanden im Berichtszeitraum (corona-bedingt) mehrere abstimmungsbezogene Telefon- und Videokonferenzen zwischen Themenverantwortlichen und zwischen AP-Leitungen statt. Dies geschah vorrangig im Hinblick auf die Zusammenführung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen in AP5, aber auch sehr intensiv bereits im Hinblick auf die Entwicklung der Sammelbandbeiträge.

Weiterhin wurde im Berichtszeitraum die Durchführung der Abschlusskonferenz des Vorhabens am 11./12.2.2020 in Berlin intensiv begleitet und im Anschluss ausgewertet. Für die Teilnehmenden wurden die Beiträge dokumentiert. Mit Referent*innen konnte der gute Austausch – auch im Nachgang – vertieft werden, der in der Bereitschaft zu - und der gemeinsamen Entwicklung von - Beiträgen für den Sammelband mündete (so z. B. mit Andreas Lösch und Ulrich Smeddinck).

4. Geplante Weiterarbeiten

Zum Abschluss wurden die Arbeiten am AP5 Bericht sowie am gemeinsamen Sammelband intensiviert.

Durch die Wahl eines internen zweistufigen Review-Verfahrens konnte eine sehr intensive interdisziplinäre Arbeit an den Sammelbandbeiträgen realisiert werden. Die Veröffentlichung des Sammelbandes weist aufgrund der Terminierung des Verlages über die Laufzeit des Vorhabens hinaus, entsprechende betreuende Arbeiten sind hier zu erwarten. Einzelne Aspekte und Empfehlungen aus SOTEC-radio werden im nachfolgenden TRANSENS Vorhaben aufgenommen und fortentwickelt (vgl. auch Abschnitt 1).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Der Abschlussbericht AP5 ist in Vorbereitung und wird zum Ende des Vorhabens vorgelegt, der Bericht zum AP3 ist in der Endredaktion und wird ebenfalls im Laufe des Julis versandt, die Veröffentlichung des Sammelbandes ist eingeleitet.

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 31.07.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 399.013,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hocke-Bergler	

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

- AP4: Ein moderiertes Fachgespräch zu Infrastrukturprojekten über lange Zeiträume wurde durchgeführt und ausgewertet. Im Inputvortrag „Wie sicher ist sicher genug? Infrastrukturprojekte über lange Zeiträume“ (Hocke/Enderle/Bechthold) wurden zentrale Ergebnisse der leitfadengestützten Interviews aufbereitet und dargestellt. Grundzüge für Handlungsempfehlungen für die Entsorgungspolitik wurden erstellt und beraten.
- AP5: Mit dem Vortrag „Ist das Standortauswahlverfahren auf einem zukunftsfähigen und robusten Weg?“ (Hocke/Enderle/Bechthold) und dem Kommentar von B. Wealer (WIP, TU Berlin) wurden bei der SOTEC-radio-Abschlusskonferenz (11./12.2.2020) durch das ITAS-Team erarbeitete Thesen zu Fragen der Langzeit-Governance diskutiert. Das ITAS konnte darüber hinaus durch zwei Keynotes einen zentralen inhaltlichen Beitrag zur Abschlusskonferenz leisten (A. Grunwald: „Endlager: Welche Herausforderungen sind abgearbeitet und was ist noch zu tun?“, A. Lösch: „Soziotechnische Gestaltung als (Un-)Möglichkeit bei der nuklearen Entsorgung?“). Ausführliche Reviews von Einzelbeiträgen im gemeinsamen SOEC-radio-Abschlussband, der in einem Fachverlag erscheinen wird (Brunnengräber/Brohmann et al., i. E./2020: „Robuste Langzeit-Governance bei der Endlagersuche“), wurden erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Monat werden die Forschungsergebnisse in Form von Einzelbeiträgen für den gemeinsamen SOTEC-radio-Abschlussband zusammengefasst. Der AP5-Bericht, der in knapper Form die zentralen Ergebnisse für den Auftraggeber als Abschlussbericht zusammenfasst, befindet sich in der Endredaktion.

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 31.07.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 wurden vier Telefonkonferenzen mit den Projektpartnern durchgeführt. Schwerpunkte der Gespräche und Abstimmungen waren: Vorbereitung und Planung der Abschlussveranstaltung am 11./12.02.2020 in Berlin, Austausch und Koordination der Einzelbeiträge für den AP5-Sammelband „Robuste Langzeit-Governance bei der Endlagersuche. Soziotechnische Herausforderungen im Umgang mit hochradioaktiven Abfällen“ (Arbeitstitel) sowie Koordination und Feinjustierung des AP5 Berichtes. Durchführung – gemeinsam mit allen Projektpartnern – der Abschlussveranstaltung „Handlungsempfehlungen für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle aus soziotechnischer Perspektive“ am 11./12.02.2020 in Berlin. Diskussionsinputs des FFU zu den Themenfeldern „Pfadabhängigkeiten – Wohin kann es gehen? Handlungsempfehlungen unter eingeschränkten Bedingungen“ sowie „Auf wen sollen wir hören? Handlungsempfehlungen vor

dem Hintergrund widerstreitender Erkenntnisse. – Expert*innendissens als Strukturmerkmal der Debatte“. Moderation der Abschlussdiskussion durch das FFU zum Thema „Handlungsempfehlungen - heute noch ein praktikabler Ansatz der Politik? Das Beispiel Endlagerung“. Zentrale Aussagen der Vorträge und Diskussionsbeiträge wurden dokumentiert und ausgewertet und zusammen mit den Ergebnissen aus den AP2-4 im AP5-Bericht zusammengeführt.

AP2.1- 2.3:

- Erstellung von verschiedenen thematisch fokussierten Beiträgen für den AP5-Sammelband:

AP2.1:

- „Pfadabhängigkeiten in der Endlagerpolitik. Die Bedeutung von Pfadentwicklungen im Kontext der Entsorgungsoptionen und Institutionenarchitektur in der Bundesrepublik Deutschland“ (Isidoro Losada)
- „Soziotechnische Analoga als Erfahrungshintergrund für ein Endlager. Windkraft, Fracking, Carbon Capture and Storage (CCS) und das Endlager für hoch radioaktive Abfälle im Vergleich“ (Themann/Brunnengräber)

AP2.2:

- „Vom starken zum schwachen Atom-Staat? Formelle und informelle Prozesse in der Atompolitik – oder: Robert Jungk neu gelesen“ (Brunnengräber)
- „Arenen zur Austragung von Dissensen in der Endlagerungspolitik. Ausschlusskriterien als ein in verschiedenen Arenen kontrovers diskutiertes Thema“ (Isidoro Losada/Themann/Häfner)
- „Zum politischen Umgang mit Expert*innendissens. Das Beispiel der Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland“ (Themann)

AP2.3:

- „Herausforderungen der neuen Institutionenarchitektur in der Endlagerung. Vergleichende Analyse der bundesdeutschen Aufsichtsbehörde mit dem belgischen und kanadischen Regulator“ (Di Nucci/Isidoro Losada/Laes)
- „Rolle und Entwicklung politischer Beratungsinstanzen im Themenfeld der bundesdeutschen Endlagerung hochradioaktiver Abfälle“ (Isidoro Losada/Themann/Di Nucci)

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Beiträge für den AP5 Sammelband werden in einem internen Reviewverfahren von den jeweils anderen Projektpartnern gegengelesen und kritisch kommentiert, daraufhin: Finalisierung der Beiträge; Verfassen der Einleitung und des Vorwortes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Themann; Brunnengräber (2020): Using socio-technical analogues as an additional experience horizon for nuclear waste management - A comparison of wind farms, fracking, carbon capture and storage (CCS) with a deep-geological nuclear waste disposal (DGD), Utilities Policy, in review

Di Nucci; Isidoro Losada; Themann (2020): Confidence gap or timid trust building? The role of trust in the evolution of the nuclear waste governance in Germany, Journal of Risk Research, in review

Themann, Dörte; Brunnengräber, Achim (2020): Soziale Aspekte der Endlagersuche. In: Gorleben-Rundschau III-IV/2020, S. 20-21

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 11557
Vorhabensbezeichnung: Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II)		
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.2 + 3.3		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2017 bis 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Großversuche abgeschlossen.

AP8: Fortgesetzte kontinuierliche messtechnische Überwachung Versatzkörper III und IV und geochemische Überwachung aller Versatzkörper.

AP9: Probenahme abgeschlossen. Fertigstellung der Laboruntersuchungen an gewonnenen Probekörpern von Versatzkörper II und Beginn der Untersuchung der Proben von Versatzkörper III am IfG Leipzig.

AP10: Erstellung integrierter Grafiken zum Verlauf von Druck-Setzung-Feuchtigkeit-Geochemie der einzelnen Versatzkörper zur Vorbereitung der Erstellung des Abschlussberichts.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP7: Großversuche abgeschlossen.

AP8: Fortführung der messtechnischen Überwachung der Versatzkörper III und IV sowie geochemische Überwachung aller Versatzkörper.

AP9: Untersuchung der Proben von Versatzkörper III am IfG Leipzig gem. Untersuchungsprogramm. Weitere Untersuchungen zur Einbaudichte an IfG und IfBuS. Durchführung der Versuche zur geochemischen Quantifizierung des Phasenbestands am IfAC im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung. Durchführung weiterer Setzung-Feuchtigkeits-Verlaufsversuche am IfBuS.

AP10: Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Darstellung FuE-Vorhaben GESAV in Firmenmaterial IMKO (im Druck)

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 31.12.2020	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 537.360,00 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 ist von der TUC als Projektkoordinator in diesem Berichtszeitraum ein Fachtreffen gemeinsam mit dem Gastgeber mitausgerichtet worden. Auf diesem Treffen sind unter anderem auch die zuvor begonnenen Planungen für das BenVaSim-Symposium 2020 gemeinschaftlich vertieft worden, zudem sind Anfragen an nicht-projektinterne Fachkollegen über Symposiumsvorträge auch von Seiten der TUC gestellt worden. Aufgrund der sich im Berichtszeitraum entwickelten globalen Situation mit Beschränkungen von Kontakten und Versammlungen musste das Symposium allerdings auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden; eine Abhaltung im vierten Quartal des laufenden Jahres ist geplant. Intern sind im Projekt korrigierte und neue Simulationsergebnisse der Partner insbesondere zu den Modellen 1.5 und 1.6 (Arbeitsbezeichnungen) gesammelt und zu Modell 1.5 auch gegenübergestellt worden. Die Vorgaben für Modell 1.6 haben aber mit Blick auf eine Vergleichbarkeit von Simulationsergebnissen erneut zu Schwierigkeiten in der vorgabebetreuen Umsetzung bei beteiligten Simulatoren, darunter auch dem FTK-Simulator der TUC, geführt.

Bei Modell 1.1 hat ein neuer Umsetzungsansatz es hingegen ermöglicht, eine bislang für den FTK-Simulator nicht lauffähig gewesene Einphasenflusssimulation zu einer Berechnungsvariation, zu der eine analytische Lösung vorliegt, erfolgreich durchzuführen. Dabei wird das undrainierte E-Modul anstelle des drainierten verwendet, wodurch sich darüber hinaus programmintern eine Möglichkeit zur Vereinfachung und Beschleunigung des Codes ergibt. Eine Übertragung dieses Ansatzes auf das Zweiphasenflussmodell 1.6, bei dem im Simulationsverlauf lokal eine ähnliche Situation entsteht, konnte dabei aber nicht erfolgen, da hier das undrainierte E-Modul von der Fluidsättigung abhängig ist. Zum einen liegen keine konkreten Formeln zur sättigungsabhängigen Berechnung des Moduls vor, und zum anderen würde erneut eine Rückkopplung zwischen hydraulischem und mechanischem Teil der Simulation im Code erforderlich werden, der augenscheinlich den erreichten Geschwindigkeitsvorteil überkompensieren würde.

Anhand von Modell 1.5 konnte das Verständnis für die korrekte Verwendung von Parameterwichtigkeiten bei Strömungsprozessen an Materialübergängen gesteigert werden.

Weitere Dokumentationen zum Projekt sind erfolgt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Nach der Lockerung von Versammlungs- und Reisebeschränkungen ist gemeinschaftlich ein neuer Termin für das BenVaSim-Symposium im vierten Quartal des laufenden Jahres zu finden (unter Vorbehalt hinsichtlich der weiteren Entwicklung der Situation). Die Organisation des Symposiums ist von der TUC durchzuführen. Die Vorstellung des Projekts und seiner Ergebnisse auf konkreten weiteren Fachtagungen wird anvisiert.

Weitere Dokumentationen der Arbeiten und Ergebnisse der TUC werden erfolgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 11567B	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH ² M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B			
Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2017 bis 30.04.2020		Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.04.2020	
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 fand ein Projektgespräch vom 25. – 26.02. bei dem Projektpartner BGR in Hannover statt. Es wurden Ergebnisse der Modelle 1.5 und 1.6 besprochen und über den Abschlussbericht diskutiert. Der Rahmen des Abschlussworkshops wurde außerdem konkretisiert.

Der für Mai geplante Abschlussworkshop des Projekts musste leider aufgrund der Covid-19 Pandemie entfallen und ein neuer Termin muss gefunden werden.

Im Berichtszeitraum finalisierte die GRS ihre Modellierungen zu Model 1.6 und war mit der Erstellung und Fertigstellung des Abschlussberichtes beschäftigt.

Insgesamt konnte die GRS in dem Projekt BenVaSim neue Erkenntnisse in Bezug auf den FEM-Code CODE_BRIGHT und die THM-gekoppelten Basisprozesse gewinnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Abschlussbericht zu dem Vorhaben in Druck.

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 31.05.2023	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 31.05.2023
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 Störungzonennetzwerkes 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 Störungzonennetzwerkes 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
- AP7: Unterstützung bei der methodischen Planung des Untertagelabors und Spezifizierung des In-Situ-Forschungs- und Entwicklungsbedarfs

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

WTZ-Zusammenarbeit: Am 25. und 26. Februar 2020 fand in Hannover im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Reaktorsicherheits- und Entsorgungsforschung (BMWi-Rosatom) ein weiteres Arbeitstreffen beider Länder auf Basis der am 5. September 2019 geschlossenen internationalen Kooperationsvereinbarung statt. Neben den SUSE-Projektpartnern waren als russische Vertreter der nationale Betreiber für die Entsorgung radioaktiver Abfälle (FSUE NO RAO) sowie das Institut für nukleare Sicherheit der Russischen Akademie der Wissenschaft (IBRAE RAN) vertreten. Dabei wurde vereinbart, die in der Kooperationsvereinbarung verankerten Themen zur Endlagerforschung aufzugreifen und konkrete Arbeitsziele für die nächsten drei Jahre festgelegt. Das Hauptaugenmerk liegt u. a. auf Arbeiten im Zusammenhang mit der Erkundung des Endlagerstandortes in Russland sowie Laboruntersuchungen und sicherheitsanalytischen Untersuchungen.

AP5: Für die Erstellung eines strukturgeologischen-hydrogeologischen Modells und die Durchführung von Transportmodellierungen zur Radionuklidausbreitung im Endlagermaßstab, wird die Geometrie des Kluftsystems auf ein regelmäßiges Gitter eines Kontinuummodells übertragen. Allerdings waren die bereits durchgeführten Modellrechnungen mit den in der Literatur beschrieben und dabei anzuwendenden Korrekturfunktionen im Vergleich zu analytischen Lösung nicht zufriedenstellend. Die Testrechnungen an Einzelklüften mit unterschiedlichen Einfallswinkeln wurden daher mit einem weiteren numerischen Code OpenGeoSys (OGS) überprüft. Die Auswertung und Diskussion war zum Ende des Berichtszeitraums noch nicht abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeiten

WTZ-Arbeiten: Für die zweite Jahreshälfte 2020 ist ein weiteres Arbeitstreffen beider Länder in Russland (Moskau) geplant. Aufgrund der aktuellen Corona-Problematik sind diesbezüglich evtl. Anpassungen hinsichtlich des Ablauf des Treffens zu diskutieren.

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 Radionuklidausbreitung im Endlagermaßstab sollen die dafür benötigten kleineren Modellrechnungen mit OGS abgeschlossen werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen verwendet werden, um die weitere Anwendungsmöglichkeit im Rahmen von SUSE zu überprüfen. Parallel dazu soll ein alternativer Modellierungsansatz in Zusammenarbeit mit einem universitären Projektpartner entwickelt werden. Die Auswahl des Ansatzes soll im kommenden Halbjahr begründet werden, so dass mit einer Entwicklung 2021 begonnen werden kann.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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 31.05.2023	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.322.575,00 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 d^{3f++} 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
- AP7: Unterstützung bei der methodischen Planung des Untertagelabors und Spezifizierung des In-situ-Forschungs- und Entwicklungsbedarfs

Die GRS ist federführend in den AP4 und AP5.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 25.02.2020 fand die zweite russisch-deutsche Sitzung zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe unter Teilnahme von NO.RAO, IBRAE, BGE TEC, BGR und GRS an der BGR in Hannover statt. Auf dieser Sitzung wurden mögliche Fragestellungen der deutsch-russischen Zusammenarbeit zum Themenbereich „URL im Nizhnekanskij Massiv“ diskutiert und in einem gemeinsamen Protokoll festgehalten. Die darauffolgende International Conference on Geological Barrier Systems, Host Rock Characterization, and Site Selection relevant to Underground Repositories (ICG 2020, 27./28.02.2020 ebenfalls an der BGR in Hannover) mit russischer und deutscher Beteiligung bot ein gutes Forum, um die Diskussionen weiter zu vertiefen.

AP3: Die Strömungsrechnungen anhand des einfachen, kleinskaligen Modells (Würfel mit Einzelkluft) zeigen weiterhin Abweichungen von der analytischen Lösung. Verschiedene Variationsrechnungen zur Fehleranalyse wurden durchgeführt und die Ergebnisse diskutiert. Auf russischer Seite wird derzeit ebenfalls an der Umsetzung geklüfteter Medien im Code GERA gearbeitet. Es wurde vereinbart, einen gemeinsamen Benchmark zu bearbeiten.

AP4: Die Vorversuche zu den Sorptionsversuchen mit Kristallinproben wurden durchgeführt und der Vorversuch mit der Kalzit-Füllung einer Kluft wurde vorbereitet. Die Kristallinproben weisen bereits hohe Gehalte an Sr und Cs auf, so dass die geplante Durchführung der Sorptionsversuche mit diesen Elementen nur bei nicht endlagerrelevant hohen Konzentrationen möglich ist. Auch eine Eu-Freisetzung wurde nachgewiesen, konnte allerdings wegen der unerwartet starken Wandsorption – insbesondere bei 80 °C – noch nicht zuverlässig quantifiziert werden. Da die zur Verfügung stehenden Probenmengen recht gering sind, kann das Problem der Wandsorption nicht durch die Erhöhung des Fest/Flüssig-Verhältnisses gelöst werden. Daher ist geplant, anstelle der Sorptionsversuche mit der Zugabe der zu sorbierenden Stoffe zur Bestimmung des konservativen K_d -Wertes, Desorptionsversuche mit den in geologischen Proben bereits vorhandenen Stoffen zur Bestimmung des realistischen K_d -Wertes durchzuführen.

Die Bestimmung des Quelldrucks und der Permeabilität für ein auf die Dichte von 1,4, 1,6 und 1,8 g/cm³ kompaktierten russischen Bentonit bei Injektionsdrücken von 1, 2 und 5 bar wurde abgeschlossen, bei 20 und 100 bar stehen die Ergebnisse noch aus. Ein auf 1,8 g/cm³ kompaktierter Versuchskörper zeigte unter atmosphärischem Druck einen unerwartet hohen Quelldruck, dessen Zustandekommen derzeit auf eine von den anderen Versuchskörpern abweichende Vorbehandlung zurückgeführt wird. Diese Beobachtung kann endlagerrelevant sein und soll in einem nachgestellten Versuch näher untersucht werden.

AP5: Neue Ergebnisse von russischer Seite zur regionalen Strömungs- und Transportmodellierung im Nizhnekansky Gebirgsmassiv von der Universität St. Petersburg und der Russischen Akademie der Wissenschaften liegen vor. Möglichkeiten zur Verwendung des Modellansatzes in deutschen regionalen Strömungs- und Transportmodellen wurden geprüft.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: Vorbereitungen von Benchmark-Rechnungen mit GERA und deutschen Codes anhand eines einfachen, generischen Modells

AP4: Die Sorptionsexperimente werden fortgesetzt. Die Bestimmung der Permeabilität und des Quelldrucks für einen russischen Bentonit wird abgeschlossen

AP5: Überprüfung der Anwendungsmöglichkeit der in SUSE entwickelten Strömungsmodelle im Hinblick auf Transportberechnungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wagner, Sebastian (2020): Sorptionsversuche von Europium an kristallinem Probenmaterial. Studienarbeit, TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit der GRS gGmbH, 24 Seiten

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 30.06.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 903.735,00 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: Für die Arbeiten an der Titrationskalorimetrie wurde eine neue Methode zur Herstellung von MgI_2 -Lösungen, die frei von elementarem Iod sind, entwickelt. Der sauerstofffreie Aufbau an der Titrationskalorimetrie wurde noch einmal modifiziert. Anschließend konnte die Verdünnungsenthalpie von MgI_2 über den Konzentrationsbereich von 1,9 bis 4,1 mol/kg in 3 Ansätzen bei 25 °C einmal gemessen werden. Die Konzentration von Triiodid (I_3) wurde mittels UV/VIS-Spektrometer ermittelt. Die isopiestic Messungen für die Systeme $\text{Cs}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cs}_2\text{SO}_4\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cs}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ und $\text{CsCl-Cs}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ wurden abgeschlossen. Mit den Ergebnissen konnten frühere Messungen ergänzt und Kenntnislücken erfolgreich geschlossen werden.

Anschließend wurden isopiestic Versuche mit Lösungen des Systems $\text{K}_2\text{SeO}_3\text{-H}_2\text{O}$ bei 25 °C begonnen. Trotz sorgfältiger Herstellung der Ausgangslösung zeigen sich Widersprüche zu früheren Messungen, die weiter zu klären sind.

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 binäre System $\text{K}_2\text{SeO}_3\text{-H}_2\text{O}$ bei 25 °C werden abgeschlossen.

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

Keine.

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 30.06.2021		Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020
Gesamtkosten des Vorhabens: 515.767,00 EUR		Projektleiter: Dr. Müller

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 Mineraloxiden

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: Batch Versuchsreihen zur Rückhaltung von Tc an Cl- Green Rust mit Variation der Versuchszeit und der Tc-Konzentration: Bei pH 6.5 sind 98 % des zugegebenen Tc bereits nach 10 Minuten aus der Lösung entfernt. Diese hohe Retentionskapazität (99 ± 1 %) blieb über dreimonatige Versuchsdauer konstant. Die Ergebnisse der Retentions-

isotherme veranschaulichen, dass sich bei pH 7.5 die Tc Beladung des Green Rust bei steigender Tc-Konzentration erhöht. Die postmortem XPS Analyse (durchgeführt am KIT/INE) des Green Rusts in An- und Abwesenheit von Tc bei verschiedenen pH-Werten bestätigte, dass Tc in allen Proben als Tc(IV) vorliegt und es sich daher um einen reduktiven Rückhalteprozess handelt. Des Weiteren wird anhand der XPS Befunde und zusätzlicher SEM Aufnahmen eine Festphasenumwandlung geschlussfolgert.

AP2: Das Potentiostat 884 Professional VA-Instrument von Metrohm wurde erfolgreich für die Tc-Elektrochemiestudien in NaClO_4 implementiert. Bestimmung der optimalen experimentellen Parameter für die Cyclovoltammetrie.

Optimierung der spektroelektrochemischen Zelle, um Reduktion von Tc(VII) in NaClO_4 zu untersuchen: deutliche Reduzierung des Probenvolumens und Verbesserung der Nachweisgrenze.

Untersuchungen bei einer Variation der Ionenstärke und des pH-Wertes.

Die Cyclovoltammetrie zeigte, dass die Reduktion von Tc(VII) bei pH 2 einen intermediären Oxidationszustand durchläuft, der je nach Ionenstärke bei -510 mV liegt und mit einer reduzierten Spezies „A“ endet, die bei -640 mV auftritt. Die Oxidation der reduzierten Spezies A durchläuft ebenfalls eine intermediäre Oxidationsstufe bei ~ 400 mV und endet mit einer oxidierten Spezies bei 550 mV. Bei pH 4-10 wurde jeweils der gleiche Reaktionsmechanismus festgestellt: direkte Reduktion von Tc(VII) zu reduzierter Spezies „B“ bei 780 mV, die Oxidation verläuft über eine intermediäre Spezies bei ca. 9 mV und endet bei 350 mV.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- XAS Untersuchungen an der ESRF (Grenoble) und weitere postmortem Analysen (XRD, Raman-Mikroskopie), um mögliche Fe- und Al- Sekundärphasen zu identifizieren.
- Untersuchung der Tc(VII) -Heteroreduktion durch auf Aluminiumoxid vorsorbierte Reduktionsmittel, wie Mn^{2+} , Sn^{2+} und S^{2-} .

AP2:

- Anwendung der rotierenden Scheibenelektrode des Potentiostaten 884 Professional VA, um die Menge der während der Reduktion und der Oxidation ausgetauschten Elektronen durch Anwendung der Levich-Gleichung zu bestimmen und Spezies „A“ und „B“ zu identifizieren.
- Optimierung der Differentialpulsvoltammetrie, um die Korrelation zwischen der Ionenstärke und dem Reaktionspotential zu bestimmen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Mayordomo, N. et al.: Technetium retention by gamma alumina nanoparticles and the effect of sorbed Fe^{2+} . *J. Hazard. Mater.* 2020, 388, 122066. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122066

Rodríguez, D. M. et al.: New Insights into $^{99}\text{Tc(VII)}$ Removal by Pyrite: A Spectroscopic Approach. *Environ. Sci. Technol.* 2020, 54 (5), 2678-2687. DOI: 10.1021/acs.est.9b05341

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 30.06.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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) Manuskript zu den Arbeiten im Tc(IV)-SO₄ System ist im internen Review. (ii) Weiterführung 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. (iv) Ansetzen von Experimenten mit Re für Analogiebetrachtungen zu den Tc-Systemen. (v) Experimentplanung zum Verhalten von Tc bei Anwesenheit von Sulfid.
- AP2: Fortführung der Langzeit-Rekristallisationsexperimente.
- AP3: (i) Manuskript zu den Grüner-Rost Mischphasen - zwischen Chlorid- und Iodid-Endgliedern („Einbau“) - wurde eingereicht. (ii) Alterationsexperimente mit Grüner-Rost Festphasen wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen sehr niedrige Rückhaltung an den Alterationsprodukten. (iii) Die Rückhaltung von Iodid an dem verwendeten Magnetit ist sehr gering.
- AP4: (i) Fortlaufende Gas- und Lösungsprobenahmen des Auslaugexperimentes mit bestrahltem Kernbrennstoff zur Bestimmung der ¹²⁹I-Freisetzung (IRF). (ii) Weitere Ergebnisse zur ¹²⁹I Freisetzung aus dem Auslaugexperiment mit bestrahltem Kernbrennstoff. (iii) Aufbau einer experimentellen Anordnung in der abgeschirmten Boxenlinie des INE zur Separation von ¹²⁹I von anderen Radionukliden in alkalischen Lösungen nach Kontakt mit Kernbrennstoff/Zircaloy.
- AP5 und AP6: Es wurden keine Arbeiten im Berichtszeitraum durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

- AP1: (i) Einreichung des Manuskripts zu den Arbeiten im Tc(IV)-SO₄ 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 Gluconat. (iv) Abschluss der Löslichkeitsexperimente mit Re für Analogiebetrachtungen zu den Tc-Systemen. (v) Ansetzen von neuen Experimenten mit Tc bei Anwesenheit von Sulfid.
- AP2: Fortführung der Langzeit-Rekristallisationsexperimente.
- AP3: (i) Abschluss der Sorptionsversuche zur Wechselwirkung zwischen Iodid und Grüner-Rost Festphasen. (ii) XAS-Messungen an Sorptionsproben werden vorbereitet. (iii) Modellierung der experimentell erhaltenen Daten.
- AP4: (i) Fortlaufende Beprobung des Auslaugexperimentes zum Freisetzungverhalten von ¹²⁹I. (ii) Alkalischer Aufschluss von Kernbrennstoff in der abgeschirmten Boxenlinie des INE und anschließende Anwendung der entwickelten Separationsmethode für ¹²⁹I auf Aufschlusslösungen.
- AP5 und AP6: Es sind keine Arbeiten im kommenden Berichtszeitraum geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 wurde die Auswertung der an den durch Anionenaustausch hergestellten (Mg,Ni)Al-LDH-I Phasen durchgeführten XAS-Messungen abgeschlossen. Dabei wurde u. a. festgestellt, dass das Iod in Form von Iodid in einer lösungsähnlichen Umgebung in die LDH-Phasen eingebaut wurde. Die Ni-Verteilung in den LDH-Phasen ist homogen, wobei Ni sich ausschließlich in oktaedrischen Positionen befindet. Mittels IR-Spektroskopie konnte gezeigt werden, dass das M^{II}/M^{III} Verhältnis in den durch Anionenaustausch hergestellten (Mg,Ni)Al-LDH-I Phasen unverändert bleibt.

AP3: Da die ursprünglich angewandte Herstellungsmethode zu einer relativ schlecht ausgeprägten Schichtstruktur der Doppelhydroxid-Verbindungen führte, wurde eine optimierte Herstellungsmethode für LDH durch Kopräzipitation getestet. Dabei wurde besonders auf die Ausgangskonzentrationen von Ni, Al und Mg geachtet.

AP4: Die Auswertung der mittels XAS gewonnenen Daten wurde abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine signifikante Menge an Ni in Form von NiO in den durch Rekonstruktion hergestellten Phasen vorliegt, insbesondere in den Proben mit hohem Ni-Gehalt (z. B. $Mg_{0,5}Ni_{2,45}Al$ - und Ni_3Al -LDH). Die ungleichmäßige Ni-Verteilung weist darauf hin, dass in diesen LDH Phasen das M^{II}/M^{III} Verhältnis abnimmt, was zu einer höheren Affinität zu Anionen (z. B. Iodid) führen kann. Das Ergebnis stimmt mit den bislang ausgewerteten IR-Daten überein und ist ein Grund für die beobachteten Unterschiede in der Reversibilität des Iod-Einbaus durch Anionenaustausch bzw. Rekonstruktion.

AP6: Die Auswertung der XAS-Ergebnisse für die durch Anionenaustausch und Rekonstruktion hergestellten (Mg,Ni)Al-LDH-I Phasen liegt in Form eines Berichtsentwurfs vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Halbjahr soll die Auswertung der IR-Daten abgeschlossen werden. Für ein besseres Verständnis der IR-Spektren sollen auch Referenzmaterialien wie z. B. (Mg,Ni)Al-LDH- CO_3 hergestellt und gemessen werden. Die Charakterisierung der durch eine optimierte Kopräzipitationsmethode hergestellten LDHs soll durchgeführt werden. Die chemischen Untersuchungen an den Lösungen, die im Gleichgewicht mit verschiedenen LDH-I Phasen sind, sollen abgeschlossen 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 (CHRISTA 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 30.11.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 865.583,78 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. Für jede der drei Einlagerungsoptionen wurde ein eigener FEP-Katalog entwickelt. Bei den drei Optionen handelt es sich um die Option des „multiplen ewG“, die Option des „überlagernder ewG“, bei dem das Barrieregestein durch ein Salinargestein repräsentiert wird, und die Option des modifizierten KBS3-Konzeptes, bei der der Behälter die wesentliche Barriere darstellt. Alle drei FEP-Kataloge wurden in Berichtsform dokumentiert. In einer abschließenden Diskussion mit den Projektpartnern BGR und GRS wurden alle drei FEP-Kataloge hinsichtlich der Begrifflichkeiten, der inhaltlichen Konsistenz und hinsichtlich formaler Aspekte synchronisiert und befinden sich derzeit in der Endredaktion.

In den drei FEP-Katalogen wird auf Basis der methodischen Weiterentwicklung im Vorhaben ANSICHT (Stark et al. 2016) eine Unterscheidung in Komponenten und Prozesse vorgenommen. Komponenten sind alle Bestandteile des Endlagersystems. Ihre räumliche Ausdehnung ist eindeutig und überschneidungsfrei. Für jede Komponente werden auch deren Eigenschaften erfasst, auf die die Prozesse im Rahmen der Systementwicklung verändernd eingreifen können. In der Endlagersystementwicklung wirken Prozesse auf die Komponenten ein und verändern diese gegebenenfalls. Diese Veränderungen betreffen in der Regel nicht die gesamte Komponente, sondern abhängig vom wirkenden Prozess, nur bestimmte Eigenschaften der Komponente. Außerdem können veränderte Eigenschaften auch dazu führen, dass andere Prozesse auftreten oder dass die bereits wirkenden in anderer Weise ablaufen. Um solche Wechselwirkungen bei der Systemanalyse mittels Szenarien möglichst genau erfassen zu können, ist die Ausweisung der Eigenschaften einer Komponente ein wichtiger erster Schritt.

Basierend auf der erstmaligen Ausweisung und Definition von Eigenschaften im Vorhaben ANSICHT (Stark et al. 2016) erfolgte die Zuweisung in den vorliegenden FEP Beschreibungen anhand einer Tabelle, welche in vier Themenbereiche der Eigenschaften gegliedert ist. Diese sind thermische, hydraulische, mechanische und chemische/mineralogische/biologische Eigenschaften.

Insgesamt beinhaltet die Gliederung folgende Elemente:

FEP Titel, NEA-Gruppe, Definition/Kurzbeschreibung, Allgemeine Informationen und Beispiele, Komponentenbeschreibung, Eigenschaften im Überblick (nur Komponenten), Prozessbeschreibung, Zeitliche Beschränkung, Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit mit Begründung, Ungewissheiten und Literaturquellen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beschreibung des Nachweiskonzeptes
- 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 (CHRISTA 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 30.11.2021		Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 870.640,00 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 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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- 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 4.3.2020.
- AP5: Weiterführung der Arbeiten zur Nachweisführung am Rande des ewG für die ewG-Konfiguration Typ „überlagernder ewG“. Berechnung von Sicherheitsindikatoren für diese Konfiguration sowie das modifizierte KBS3-Konzept. Diskussion und erste Berechnung der im Entwurf der EndlSiAnfV definierten Indikatoren zum Einschluss der Radionuklide im ewG.
 Erste Strömungs- und Transportrechnungen für das von der BGR entwickelte geologische Modell wurden mit dem Code Feflow als Grundlage für spätere Vergleichsrechnungen mit dem Grundwasserströmungs- und Transportcode d³f++ durchgeführt.
 Vorstellung der Ergebnisse von RepoTREND zum Benchmark für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle im Kristallingestein auf dem gemeinsamen Workshop mit UJV und SURAO am 2.3 und 3.3.2020 bei SURAO in Prag.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Erarbeitung der Abhängigkeitskonfiguration der FEP für das modifizierte KBS3-Konzept.
- AP4: Ableitung von Maßstäben zur Bewertung, wann eine erhebliche Beeinträchtigung der Barrierewirkung durch Änderung chemischer Verhältnisse zu erwarten ist. Erarbeitung eines entsprechenden Nachweiskonzeptes.
- AP5: Weiterführung der Arbeiten zur Nachweisführung am Rande des ewG für die ewG-Konfiguration Typ „überlagernder ewG“ und das modifizierte KBS-3-Konzept. Abschließende Berechnung der in den EndlSiAnfV definierten Indikatoren zum sicheren Einschluss.
 Überarbeitung des mit RepoTREND aufgesetzten Rechenfalls für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle im Kristallingestein. Vorstellung der neuen Ergebnisse auf dem geplanten deutsch/tschechischen Workshop im November 2020.
 Berechnung der Grundwasserströmung für die ewG-Konfiguration Typ „überlagernder ewG“ mit dem Grundwasserströmungs- und Transportmodell d³f++ und Auswertung der Ergebnisse.

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 31.10.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.308.959,00 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 Ausbruchsmaterial 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 Endlager Hohlräume
- 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
- AP4: Untersuchung des Gastransportes in geschädigtem Tonstein zur Beteiligung am EU-Projekt EURAD im WP6-GAS

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuche zur Wasseraufnahmefähigkeiten vom Ausbruchtonstein und Tonstein-Bentonit Gemisch (7/3) sind mit insgesamt 30 Proben in lockererem und kompaktiertem Zustand weiter im Lauf. Bei unterschiedlichen Luftfeuchten von 30-100 % werden Wassergehalten der Proben bis zum Gleichgewicht gemessen. Damit lässt sich der Wasserrückhalt in Abhängigkeit von Saugspannung ermitteln.

Zur Bestimmung der mechanisch-hydraulischen Eigenschaften der Ausbruchtonstein-Bentonit-Mischungen als Verschlussmaterial werden vier Proben untersucht: (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). Die Proben werden in Oedometerzellen unter stufenweise Belastungserhöhung von bis zu 5 MPa langfristig kompaktiert. Dabei werden die Volumenänderung, Porosität, Wasserpermeabilität, Gas-sperndruck bzw. Gaspermeabilität gemessen. Die Versuche sind weiter im Lauf.

Eine Aufstockung wurde im Mai 2020 vom PTKA-WTE genehmigt, um zusätzliche Untersuchungen durchzuführen:

- Ermittlung der Temperatureinflüsse auf die Tonstein-Bentonit-Versatzmaterialien
- Bestimmung der Gasströmungseigenschaften des geschädigtem Tonstein durch Beteiligung am EU-Projekt EURAD im WP6-GAS.

Zum Gastest im EURAD-WP6 wurde ein Versuchsverfahren mit großen Tonkernen entwickelt und mit anderen Partnern abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der laufenden Langzeitversuche
- Starten der Messungen von thermischer Leitfähigkeit der untersuchten Materialien
- Starten der Versuche zur Bestimmung der Temperatureinflüsse auf die Bentonit und Tonstein-Bentonit-Gemisch
- Starten des Gastests mit großen Tonkernen

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 31.12.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 ersten Halbjahr 2020 wurde die bisherige Krustengeometrie des Deutschland-Spannungsmodells in zwei wesentlichen Punkten modifiziert. Zum einen wurde eine neue Fläche „Top Kristallin“ erstellt, die eine deutlich verbesserte mechanische Gliederung der Oberen Kruste erlaubt. Zum anderen wurde die Obere Kruste lateral in 4 Segmente unterteilt, die tektonischen Einheiten entsprechen. Diese vier Einheiten sind der Osteuropäische Kraton, Avalonia, die Armorica-Terranegruppe und die Alpen-Karpaten Mikroplatte. Diese Unterteilung bietet die Möglichkeit, den verschiedenen Krustenbereichen unterschiedliche Parameter zuzuweisen. So lassen sich z. B. Steifigkeitskontraste berücksichtigen, die von mehreren Autoren als wichtige Einflussgröße auf das regionale Spannungsfeld gesehen werden. Dieses neue Modell wurde diskretisiert und parametrisiert und anschließend anhand von Daten zu Spannungsorientierungen aus der World Stress Map und zu Spannungsmagnituden aus der Kompilation des GFZ Potsdam (02E11637B) kalibriert. Die Ergebnisse des so erzeugten Best-Fit Modells sind sehr vielversprechend. Sie zeigen abgesehen von einigen lokalen Abweichungen eine gute Übereinstimmung mit den Orientierungen der größten horizontalen Hauptspannung und den Magnituden der kleinsten horizontalen Hauptspannung. Lediglich die Magnituden der größten horizontalen Hauptspannung weisen größere Differenzen gegenüber den Kalibrierungsdaten auf. Dies liegt zum einen an den großen Unsicherheiten in dieser Messgröße, da die Magnitude der größten horizontalen Hauptspannung nicht direkt gemessen werden kann. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass die Anpassung zwischen modellierten und gemessenen Spannungsmagnituden generell noch durch eine höhere Elementauflösung im Bereich der Sedimentbecken verbessert werden kann. In Hinblick auf die Aufskalierung von mechanischen Materialeigenschaften wurden neben auf empirischen Gebirgsklassifikationen basierenden Konzepten auch Discrete Fracture Network (DFN) Ansätze untersucht. Sie erlauben auf Basis von Gesteins- und Trennflächenparametern die Bestimmung von elastischen Kennwerten (auch anisotrop) für größere Gebirgsvolumina.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr des Jahres 2020 werden folgende Arbeitsschwerpunkte adressiert:

- Fertigstellung einer Publikation zu dem oben beschriebenen Spannungsmodell
- Implementierung einer stratigraphisch feineren Auflösung des Finite Element Modells im Bereich der Sedimentbecken
- Diskretisierung dieses höher aufgelösten Modells

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Morawietz, S., Heidbach, O., Ziegler, M., Reiter, K., Rajabi, M., Zimmermann, G., Müller, B., Tingay, M. (2020): World Stress Map Beyond Orientations - The First Quality Ranking Scheme for Stress Magnitude Data - Abstracts, European Geosciences Union General Assembly (Online 2020), <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2884>

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 31.12.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Überarbeitung des eingereichten Manuskriptes zur Spannungsmagnitudendaten Deutschlands und angrenzender Gebiete abgeschlossen und die revidierte Fassung eingereicht. Die Überarbeitung war aufgrund der Gutachten relativ umfangreich. Insbesondere wurde das Quality Ranking Scheme für Spannungsmagnitudendaten nochmals deutlich verbessert und erweitert ebenso wie die Felder der 568 frei verfügbaren Datensätzen der Datenbank. Die Überführung der Daten in die neue Datenbankstruktur des World Stress Map (WSM) Projektes wurde ebenfalls vorbereitet. Als neuer Arbeitspunkt wurde ein geomechanisch-numerisches generisches Modell aufgebaut mit dem der Multi-Skalenansatz getestet wird, um zu untersuchen, wie man aus einem großräumigen Modell das initiale Spannungsfeld für kleinräumige regionale bzw. lokale Modelle ableiten kann. Insbesondere wird auch getestet werden, unter welchen Bedingungen synthetische Spannungsmagnitudendaten aus großräumigen Modellen für die Kalibrierung von kleinräumigen Modellen verwendet werden kann. Das generische Modell ist bereits aufgebaut und erste Tests zur numerischen Auflösung und zum Validieren des Modellaufbaus wurden bereits erfolgreich durchgeführt. Ein weiterer, wenn auch kleiner Anteil der Arbeit von Frau Morawietz, umfasste die Planung und Etablierung einer internationalen Konferenz von PhD-Studierenden vom 2. - 4. September 2020 in Potsdam, um ein Netzwerk für den Nachwuchs der Endlagerstandortforschung zu etablieren (www.decay-days.eu). Die Konferenz ist als Auftakt einer jährlichen Veranstaltung zu sehen, die insbesondere die kommende Generation der Geo- und IngenieurwissenschaftlerInnen auf europäischer Ebene verknüpfen soll.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für das zweite Halbjahr 2020 sind folgende Arbeitsschwerpunkte geplant:

- Finalisierung der Publikation des Papers mit der Beschreibung der Spannungsmagnitudendatenbank (gegebenenfalls Einarbeitung weiterer Gutachterkommentare)
- Erweiterung der Datenbank, da weitere Daten in der 2. Jahreshälfte verfügbar sein werden sowie Einbindung der Datenbank in die neue PostgreSQL Datenbank des WSM Projektes
- Finalisierung der Arbeiten der generischen geomechanisch-numerischen Modelle zum „multi-scale“ Ansatz von der Bohrlochdimension über das Nahfeld (10-100 m) in das Fernfeld (km-Skala) und gegebenenfalls Vorbereitung einer Publikation hierzu
- Durchführung der Decay-Days Konferenz

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Morawietz, S., Heidbach, O., Ziegler, M., Reiter, K., Rajabi, M., Zimmermann, G., Müller, B., Tingay, M. (2020): World Stress Map Beyond Orientations - The First Quality Ranking Scheme for Stress Magnitude Data - Abstracts, European Geosciences Union General Assembly (Online 2020), <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2884>

Heidbach, O., Ziegler, M., Morawietz, S. (2020): Geomechanical Assessment of Potential for Induced Seismicity - Abstracts, European Geosciences Union General Assembly (Online 2020), <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10514>

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 31.12.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

Zur adäquaten Parametrisierung des Deutschland-Modells müssen repräsentative Parameter für mechanische Eigenschaften der zu implementierenden Schichten bestimmt werden. Besonderes Interesse gilt hier dem E-Modul. Im Modell kann aufgrund der rechnerbedingten Elementlimitierung lediglich eine begrenzte Anzahl stratigraphischer Schichten genutzt werden. Die Parametrisierung des Modells muss daher derart erfolgen, dass das mechanische Verhalten der stratigraphischen Pakete im Modell mit minimalen Abweichungen reproduziert werden kann. Als Datengrundlage dient die P³-Datenbank von C. Bär (TUDA). Diese wurde entsprechend der im Deutschland-Modell gewählten stratigraphischen Gliederung aufgearbeitet und die einzelnen Parameter für die Modell-Schichten nachverdichtet und zugeordnet. Eine Erhebung statistischer Parameter und eine Untersuchung der geographischen Verteilung der Parameter zeigte bereits zum Eingang der Untersuchung, dass nicht für alle Modellschichten ausreichend Werte für die untersuchten Parameter vorliegen und häufig bestimmte Regionen über- oder unterrepräsentiert sind.

Zur Bestimmung der am besten geeigneten Parametrisierung des Modells wurden Untersuchungen anhand eines generischen Modells durchgeführt. Dieses wurde am GFZ ursprünglich für andere Untersuchungen erstellt, erschien aber aufgrund der verwendeten Geometrie auch für die Untersuchung der Parameter sehr gut geeignet. Die Corona-Situation führte allerdings zu einer zeitlichen Verzögerung bei der Übergabe des Modells (Zugänglichkeit des Servers am GFZ). Die zuvor durchgeführte Zuordnung der Parameter zu stratigraphischen Einheiten erlaubte eine genaue Untersuchung der Parameter insbesondere für drei stratigraphische Einheiten: Den Jura-Malm, den Buntsandstein und den Muschelkalk. Für diese Einheiten konnten Untereinheiten einzeln parametrisiert und damit deren Zusammenlegung zu einer Schicht untersucht werden. Hierzu wurden im genutzten Modell in einem zentralen Bereich drei Schichten durch eine einheitliche Parametrisierung zu einer Schicht zusammengefasst und verschiedene Gewichtungsmodelle bei der Materialzuordnung angewandt, in den peripheren Bereichen wurden die drei Schichten jedoch separat modelliert? Im Anschluss wurde untersucht, welche Abweichungen sich bezüglich der Horizontalspannungen zu einem Basismodell ergaben, in dem die drei Schichten auch im zentralen Bereich differenziert wurden. Hierzu wurden Werte entlang von vier vertikalen Profillinien ausgelesen und in Matlab ausgewertet und sowohl vertikale als auch horizontale Profilschnitte in Tecplot erstellt. Es zeigte sich deutlich, dass sowohl im Bereich der vereinheitlichten Schicht als auch in den peripheren Bereichen die Abweichungen am geringsten ausfielen, wenn die vereinheitlichte Schicht mit dem nach Mächtigkeit gewichteten Mittel der E-Moduln der einzelnen Schichten parametrisiert wurde.

Für die deutschsprachige Veröffentlichung wurde mit der Redaktion von Erdöl Erdgas Kohle Kontakt aufgenommen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Nachverdichten der Parameterdaten aus weiteren Quellen (Weiterführung)
- Zuarbeit zu den Arbeiten an der TUDA zur Modell-zusammenstellung (Weiterführung)
- Erstellung von Slip Tendency Karten basierend auf im Projekt zusammengestellten Störungsdaten und dem derzeitigen Stand des Deutschland-Modells (Ahlers in Vorb.)
- Verfeinerung des Sedimentpakets im Deutschland-Modell
- Abschluss einer deutschsprachigen Veröffentlichung zur Bedeutung des Spannungsfelds in der Bewirtschaftung des Untergrunds.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Geplante Poster und Vorträge bei Konferenzen etc. mussten Corona bedingt abgesagt werden.

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 30.06.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.610.525,00 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 einem Treffen der IGSC Core Group. Review der Broschüre zu 20 Jahre IGSC und Diskussion des nächsten Jahrestreffens der IGSC.

- Teilnahme am Kick-Off Meeting des IDKM Projekts der NEA. Fertigstellung der IDKM-Roadmap und Erstellung des Mandats für die Arbeitsgruppe „Archivierung“. Teilnahme an zwei IDKM-Bureau Treffen.
- Rechnungen zum Vergleich des deutschen und tschechischen Biosphärenmodells und Präsentation auf dem von SURAO organisierten Workshop in Prag.
- Fertigstellung der Dokumentation der FEP-Aktivitäten des NEA Salt Club in einem gemeinsamen Bericht von COVRA, GRS und Sandia National Labs (SNL).
- Ein Berichtsentwurf über die Arbeiten an Task 9 FEBEX der Task Force on EBS wurde fertiggestellt und an den wissenschaftlichen Chairman für einen zusammenfassenden Bericht zu Task 9 übersandt. Das Frühjahrsmeeting ist ausgefallen.
- Zusammenstellung von Analoga-Studien für Endlagerkonzepte in Kristallingestein auf Basis der im Vorhaben CHRISTA-II entwickelten FEP-Kataloge.
- Teilnahme an 2 OECD/NEA Bureau Meetings zur Planung des 4. Crystalline Club Plenary Meetings (CRC-4) im Juni 2020 in Deutschland. Das Treffen wurde durch die Corona-bedingten Einschränkungen verschoben. Abstimmung des Program of Work 2021 – 2022 und Wahlen zum CRC Chair und Bureau 2021. Die GRS übernimmt 2021 den Vorsitz des CRC.

TA 2:

- Weiterführung der Analyse von Modellsystemen anderer Länder im Rahmen der gemeinsamen Aktivität zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse (JOSA). Anwendung weiterer, insbesondere auf Metamodellierung beruhender Methoden (RS-HDMR, BSPCE) auf verschiedene Modellsysteme aus mehreren Ländern. Durchführung von verschiedenen Analysen des russischen Modells zur Grundwasserströmung. Vergleich der Ergebnisse in internationaler Kooperation sowie Entwurf einer Dokumentation der bisherigen Ergebnisse. Durchführung eines Skype-Workshops im Rahmen der internationalen Arbeitsgruppe im Juni 2020.

4. Geplante Weiterarbeiten

TA1:

- Teilnahme an den kommenden Sitzungen der IGSC Core Group und dem Jahrestreffen der IGSC sowie Treffen zur IDKM Arbeitsgruppe. Anwendung der Vorgehensweise zur Identifikation des Set of Essential Records auf die Konrad Unterlagen.
- Teilnahme am nächsten EBS Task Force Meeting. Beginn der Arbeiten zur Übertragung der in VIPER verwendeten Gleichungen nach COMSOL mit dem Ziel, 3D-Rechnungen zu Task 9 durchführen zu können.
- Dokumentation der Arbeiten zu Analoga-Studien für Endlager in Kristallingestein.
- Planung und Durchführung des CRC-4 Meetings 2021 in Deutschland. Fertigstellung des CRC Status Reports.

TA2:

- Integration der Methoden RS-HDMR und/oder BSPCE in das vorhandene Instrumentarium.
- Durchführung von Analysen komplexerer Modellsysteme aus anderen Ländern im Rahmen der gemeinsamen Aktivität zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse (JOSA). Vergleich der Ergebnisse in internationaler Kooperation.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 Barriersystem
- 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: Für die Rechnung mit d^{3f++} wurde aus dem geologischen Modell der BGR ein Prismen-Rechenmodell erstellt. Mit diesem Modell wurden mit dem Code d^{3f++} erfolgreich erste Modellrechnungen zur Grundwasserströmung durchgeführt. Die notwendigen Entwicklungsarbeiten am Code d^{3f++} zur Implementierung der Radionuklidquellen im Modell und zum Einlesen der Radionuklidströme aus dem RepoTREND Nahfeldmodul wurden beschrieben und mit dem Unterauftragnehmer TechSim UG diskutiert. Die Entwicklungsarbeiten des Unterauftragnehmers wurden begonnen.
- AP3.2: Berechnung der in §4 des Entwurfs der Endlagersicherheitsverordnung definierten Indikatoren zum Einschlussvermögen des Endlagersystems. Die vier Indikatoren jährlicher Massen- und Mengenfluss sowie integrierter Massen- und Mengenfluss wurden für die Endlagerstandortmodelle Nord und Süd berechnet und mit dem bisher verwendeten RGI verglichen. Der Unterschied der Indikatoren bezüglich Masse und Mengen ist dabei so gering, so dass die weiteren Auswertungen sich auf den Indikator bezüglich der Menge beschränken.
- AP3.3: Durchführung von Testrechnungen mit dem in Entwicklung befindlichen Nahfeldmodul RepoTREND.
- AP3.4: Erstellung eines Modells für einen repräsentativen Ausschnitt aus der bisher betrachteten Endlagergeometrie (Elementarzelle) zur Durchführung von Vergleichsrechnungen zum vollständigen Modell und zu den anderen eingesetzten Rechenprogrammen. Entsprechend den erzielten Ergebnissen kann die Elementarzelle im hier betrachteten Fall als repräsentativ für das gesamte Modell gelten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3.1: Festlegung der Modellparameter für den Radionuklidtransport. Testen der vom Unterauftragnehmer durchgeführten Entwicklungen am Code d^{3f++}. Durchführung von Modellrechnungen zur zum Radionuklidtransport mit d^{3f++}.
- AP3.2: Durchführung von probabilistischen Rechnungen für den Indikator jährlicher Mengenfluss als Maß des Einschlussvermögens des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs entsprechend dem Entwurf der Sicherheitsanforderungsverordnung.
- AP3.3: Durchführung von Test- und Vergleichsrechnungen mit dem Programmpaket RepoTREND zu den mit TOUGH2 durchgeführten Rechnungen.
- AP3.4: Dokumentation der durchgeführten Arbeiten für den Abschlussbericht.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

Auf Basis der entwickelten Kriterien wurden im Berichtszeitraum im Rahmen des Arbeitspakets 2 verschiedene Einzelnachweise zur strukturellen Integrität der einzelnen geotechnischen Barrieren exemplarisch geführt. In Anlehnung an den international anerkannten Stand der Technik geschieht der Nachweis unter Anwendung der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte. 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.

Das geotechnische Barrierensystem für ein Endlager für hoch-radioaktive Abfälle in einer Tongesteinsformation besteht nach aktueller Planung aus den vier folgenden wesentlichen Barrieren:

- Bohrlochverschluss (nur bei vertikaler Bohrlochlagerung)
- Migrationssperre (Zum Verschluss einzelner Einlagerungsfelder)
- Streckenverschluss (Zum Verschluss der Einlagerungsbereiche)
- Schachtverschluss (unterer Teil innerhalb des ewG).

Im Berichtszeitraum wurden die Einzelnachweise für den Bohrlochverschluss geführt und dokumentiert. Mit den Nachweisen für die Migrationssperre und den Streckenverschluss wurde begonnen. Bei dem Nachweis für den Schachtverschluss wird auf Ergebnisse des laufenden Vorhabens ELSA-II zurückgegriffen, im Rahmen dessen Konzepte für Schachtverschlüsse in Salz- und Tongesteinsformationen entwickelt werden. Hier können Synergieeffekte genutzt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung weiterer Einzelnachweise zur strukturellen Integrität der Barrieren Migrationssperre und Streckenverschluss.
- Durchführung des Dichtheitsnachweises für das gesamte Barrierensystem im Zusammenspiel aller Barrieren innerhalb eines ewG.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 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 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 realen und virtuellen Arbeitstreffen zur Entwicklung des Konzepts für die Implementierung der Redoxprozesse.
- AP2: Durchführung von Vergleichsrechnungen mit d^3f^{++} und PHAST zur Verifikation des Smart- K_d -Konzeptes (ohne Redoxprozesse). Modifikation des Testfalles für eine bessere Vergleichbarkeit. Angleichung der Zeitschrittwahl, Gitterauflösung und Lösereinstellungen und Debugging der Implementierung des Smart- K_d -Konzeptes im Rechen-code.
- AP3: Vorbereitung der Veröffentlichung zur Sorption von Ac(III), Ln(III) an Feldspäten. Abschluss von Transport- und Batch-Sorptionsexperimenten zur Sorption von Eu an Quarz mit verschiedenen geochemischen Randbedingungen. Abschluss der Titrationsarbeiten zur Oberflächenladung von Quarzsanden und Orthoklas. Auswertung von Titrationsexperimenten mittels thermodynamischer Sorptionsmodelle (diffuse double layer model) zur Beschreibung der Oberflächenladungsdichte von Orthoklas. Planung und Betreuung von Batchsorption- und Säulenversuchen in Systemen mit Ni u. a. bei erhöhter Ionenstärke.
- AP6: Durchführung eines virtuellen Arbeitstreffens mit allen Verbundpartnern 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: Erstellung eines zweiten Testfalls zur Einbeziehung von Gibbsit und Fortführung der Verifikationsrechnungen mit dem Code PHAST. Vorbereitung einer Veröffentlichung.
- AP3: Veröffentlichung der Publikation zur Sorption von Ac(III), Ln(III) an Feldspäten. Auswertung von Titrationsexperimenten zu verschiedenen Quarzsanden und Vorbereitung einer Publikation zur Sorption von Eu an Quarz unter Einbeziehung von EXAFS Analysen. Durchführung von EXAFS Analysen zur Sorption von Eu und Ni an Quarz in enger Zusammenarbeit mit KIT INE. Planung und Betreuung von Säulenversuchen in Systemen mit Ni u. a. bei erhöhter Ionenstärke.
- AP6: Durchführung eines weiteren Projekttreffens mit den Verbundpartnern HZDR und KIT-INE in Karlsruhe.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 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 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: Tests und Update zur Strategie für die Implementierung der Redoxprozesse mit Schwerpunkt auf Pyrit und die Sulfid-Systeme
- AP3: Entwicklung eines generischen Oberflächenkomplexierungsmodells für die Sorption dreiwertiger Metall-Ionen an K-Feldspat, Manuskript einer Publikation liegt vor
Aufklärung des Sorptionsmechanismus für Thorium auf Muskovit: Datenanalyse aus den letzten Strahlzeiten
Batch-Sorptionsexperimente von Pu(III) auf K-Feldspat und Hämatit
- AP4: Erstellung neuer Smart- K_d -Matrizen auf Basis eines Updates der thermodynamischen Datenbank SMILE.dat
- AP6: Projekttreffen mit den Verbundpartnern GRS und KIT-INE in Dresden, Update der Internet-Präsenz unter „www.smartkd-concept.de“

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Implementierung von Redoxprozessen in d^3f^{++} , bessere Konvergenz (Robustheit und Geschwindigkeit) über alternative Numerik-Routinen sowie Arbeitstreffen mit dem G-CSC Frankfurt zur entsprechenden Codierung
- AP2: Bereitstellung weiterer Testfälle zur Verifizierung des aktualisierten WEIMAR-Konzepts
- AP3: Wiederholung SXD Experimente zur Sorptionsstruktur von M^{3+} auf K-Feldspat mit neuen Mineralproben
Fertigstellung Manuskript zum Th-Sorptionsmechanismus
Batch-Sorptionsexperimente und TRLFS zur Sorption von M^{3+} auf Muskovit, Entwicklung eines Oberflächenkomplexierungsmodells, Veröffentlichung der Ergebnisse
Datenanalyse und Ermittlung eines $\log K$ für die Sorption von M^{3+} -Sulfat-Spezies auf die Muskovit(001)-Basalfläche, Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP6: Durchführung eines weiteren Projekttreffens mit den Verbundpartnern GRS und KIT-INE in Karlsruhe, kontinuierliche Pflege der Internet-Präsenz

5. Berichte, Veröffentlichungen

- H. Brinkmann, J. Neumann, S. Britz, V. Brendler, T. Stumpf, M. Schmidt: Sorption of trivalent actinides (Cm, Am) and their rare earth analogues (Lu, Y, Eu, Nd, La) onto orthoclase: Batch experiments, Time-Resolved Laser Fluorescence Spectroscopy (TRLFS) and Surface Complexation Modeling (SCM), Talk at EGU Conference, 4 May, 2020, Internet
- M. Stockmann, U. Noseck, S. Britz, J. Flügge, D.-A. Becker, V. Brendler: Smart K_d -concept as efficient approach to improve geochemistry in reactive transport modelling, Talk at the international workshop on “How to integrate geochemistry at affordable costs into reactive transport for large-scale systems”, 5 - 7 February 2020, Dresden

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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. Vorbereitung von EXAFS Messungen zur Adsorption von Eu and Quartz). Besuch eines Mitarbeiters von HZDR für die EXAFS Messungen. Die EXAFS Messungen konnten wegen Problemen bei KARA nicht durchgeführt werden. Die Adsorptionsversuche sind weitgehend abgeschlossen. Neue Messzeit an KARA ist angefragt. Die Feldspat-Titrationsdaten wurde für die Modellierung verwendet und das Modell geht ein in die Modellierung von Eu-Sorptionsdaten. Ein gemeinsames Manuskript zu diesem System liegt inzwischen vor.

Durchführung weiterer Säulenversuche im Rahmen einer Masterarbeit bei höheren Ionenstärken als in den Arbeiten der GRS. Für Mica und Feldspat wurden keine Durchbrüche erhalten. Eu-Profile wurden in den zwei Säulen aufgenommen.

AP3: Virtuelles Projekt Meeting.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3: EXAFS Untersuchungen im Eu-Quartz System (neue Strahlzeit vermutlich im November. Zudem sollen ähnliche Versuche zum Ni-Quartz System durchgeführt werden.

Fertigstellung der Veröffentlichung zur Adsorption von Europium an Feldspat.

Zeta-Potential Messungen an Feldspat-Anschnitten mit Gleichgewichtslösungen im Vergleich zu Nicht-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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

- AP1: Zur Beschreibung des viskosen Verhaltens von Beton sowie seines Verhaltens bei thermischer Aktivierung in ausgehärteten Zustand erfolgten weitergehende Recherchen. 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 das viskose Verhalten wurde ein Ansatz entsprechend den Rechercheergebnissen implementiert, der die erwarteten Mechanismen synthetisch wiedergibt. Die weiteren Arbeiten beschränkten sich auf diesen Ansatz.
- AP2: Die Zusammenstellung versuchstechnischer Grundlagen wurde speziell für den Sorelton weitergeführt und Parameter für die Teilstoffmodelle identifiziert und zugeordnet. Im Ergebnis stand für die Teilstoffmodelle ein erster Parametersatz zur Verfügung. In die Zusammenstellung wurden die im Rahmen des Projektes LASA durchgeführten triaxialen Druckversuchen mit Temperaturerhöhung (Doppelmessung) einbezogen. Aus den Versuchsdaten wurden alle erkennbaren Einzeleffekte isoliert, die durch einzelne Teilstoffmodelle abgebildet werden.
- AP3: Der erste im Rahmen des Projektes LASA durchgeführte Druckversuch mit Temperaturerhöhung wurde mit dem ersten Parametersatz nachgerechnet. Es zeigte sich, dass für die erste Versuchsphase das Zeitverhalten qualitativ nachvollzogen werden konnte, wobei sich das Verhalten aber insgesamt zu steif darstellte. In der zweiten Versuchsphase (Temperaturerhöhung) zeigte sich nicht nur eine quantitative Abweichung, sondern auch eine qualitative Abweichung des Trends. Eine weitergehende Untersuchung des zweiten Versuches zeigte, dass sich diese qualitative Abweichung des Trends in der zweiten Versuchsphase sich auch im Vergleich der beiden Versuche untereinander zeigte. Um die Datenbasis zu verbreitern wurde von GRS ein weiterer Versuch durchgeführt, um eine Entscheidungsgrundlage bzgl. des Trends zu gewinnen. Bis zum Vorliegen der Versuchsergebnisse wurden die Arbeiten unterbrochen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Für die die bisher erzielten Rechercheergebnisse gilt, dass sie unter Einbeziehung der im Rahmen des Projektes LASA erzielten Versuchsergebnisse weiterhin nicht zufriedenstellend sind. Dies gilt insbesondere für das systematisch zu steife Verhalten. Die Recherche wird deshalb weitergeführt.
- AP2: Der zur Verbreiterung der Datenbasis zusätzlich durchgeführte Versuch wird ebenfalls aufbereitet und seine Einzeleffekte isoliert, wobei insbesondere auf den Trend in der zweiten Versuchsphase Berücksichtigung findet.
- AP3: Es werden Parametervariationen durchgeführt, um systematische Erkenntnisse zu gewinnen, welche Parameter wesentlich für das zu steife Verhalten sind. Dies gilt für die erste Versuchsphase, in der beide bisher ausgewertete Versuche vergleichbares Verhalten zeigen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Erüchtigung/Erweiterung der Berechnungssoftware
- AP5: Erstellung Schlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Herstellung von Salzschnittblöcken für einen zweiten Prüfkörper mit gleicher Konfiguration der Salzschnittblock-Konstruktion (ohne Fugenfüllung).
Weitere Herstellung von Salzschnittblöcken für einen weiteren Prüfkörper mit Fugenfüllung
- AP3: Dichtheit der Gummiummantelung erreicht. Durchführung eines ersten mechanischen Kompaktionsversuchs unter eingeschränkter Axialdehnung mit einer Axialdeformationstoleranz von 0,2 mm und einer konstanten Mantelspannung von 12,5 MPa für zunächst ca. 110 Tage. Anschließend Fortführung der mechanischen Kompaktion bei gleicher mechanischer Beanspruchung und gleichzeitig Durchführung von Gas-Permeabilitätsversuchen mit verschiedenen Gasgradienten
- AP4: Weiterführung der rechnerischen Reanalyse des Technikumsversuchs: Simulation des Salzschnittblöcke-Modells mit einer Fugenbreite von 5 mm mit Hilfe des in FLAC3D 5.0 implementierten viskosen (zeitabhängigen) Verhaltens für die Interface-Elemente und somit für die verbleibende Fugenbreite. Umschreibung der Rechen-Routinen von FLAC3D 5.0 auf FLAC3D 7.0 mit der Erwartung einer besseren Funktionalität der Interface-Elemente sowie einer optimierten Rechenzeit für das numerische Modell mit einer Mehrzahl an Interface-Elementen

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Weitere Herstellung von Salzschnittblöcken für einen zweiten Prüfkörper mit gleicher Konfiguration der Salzschnittblock-Konstruktion (ohne Fugenfüllung).
Weitere Herstellung von Salzschnittblöcken für einen weiteren Prüfkörper mit Fugenfüllung
- AP3: Fortführung des ersten Versuchs Kompaktionsversuchs mit der Variation der Axialdeformationstoleranz zwecks Einschränkung der aktuell ausgeprägten Schwankungen in der Axialspannung.
Durchführung eines zweiten Prüfkörpertests mit gleicher Konfiguration der Salzschnittblock-Konstruktion (ohne Fugenfüllung)
- AP4: Weitere Simulationsuntersuchungen zum Salzschnittblöcke-Modell mit einer Fugenbreite von 0,1 mm (ohne Fugenverfüllung) in FLAC3D 7.0

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 31.08.2022	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.903.917,00 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
- AP9: Analyse von Salzprüfkörper aus der WIPP

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: In diesem Arbeitspaket erfolgt die Zusammenstellung bzw. Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden basierend auf vorlaufenden FuE-Vorhaben. 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. Die Treffen im 1. HJ wurden allerdings aufgrund von Corona verschoben.
- AP2: An dem HC-Messstand werden seit einem Jahr kombinierte Probekörper (Abdichtmaterial/Salz) für die Materialien A1 und M2 sowie monolithische Probekörper (MP) für die Materialien M2, M2-ERAM, M4 und A1 untersucht. Bei den monolithischen Pro-

bekörpern des A1 wurden sowohl mit NaCl- als auch mit IP21-Lösung Permeabilitäten von ca. 10^{-18} m^2 gemessen. Bei den anderen monolithischen Probekörpern erfolgte noch kein Lösungsdurchfluss.

- AP3: Zurzeit werden in den Autoklaven kombinierten Probekörper des Sorelbeton A1 nochmals untersucht. Aufgrund der hohen Anfangspermeabilität wurden diese Proben zunächst bei anliegendem Manteldruck von 50/100 bar vorkompaktiert, um eine Ausgangspermeabilität von ca. $1 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ zu erreichen.
- AP4: Für die THC-Versuche wurde entsprechend den HC-Versuchen ein Messstand aufgebaut, wobei der Aufbau in 2 Klimaschränken realisiert worden ist. Es sind jeweils 8 Probekörper für eine Lösung eingebaut. Schnelle Durchströmung zeigte sich für die monolithischen A1-Proben und die kombinierten Probekörper des M2. Aufgrund der Situation im 1. HJ konnten diese Proben nicht bis zum Versagen beobachtet werden. Diese Versuche werden noch einmal wiederholt, wobei diese „kritischen Proben“ an separate Lösungsreservoirs angeschlossen werden sollen, um die übrigen Proben nicht zu beeinträchtigen.
- AP5: Im TM-Messstand wurden die Versuche zur Untersuchung des spannungs- und temperaturabhängigen Verformungsverhalten von Salzbeton M2 und Sorelbeton A1 bei einem nahezu isotropen Spannungszustand vollständig abgeschlossen. Für beide Baustoffe konnte ein deutliches spannungs- und temperaturabhängiges Verformungsverhalten festgestellt werden. Die Kriechverformung des A1 ist signifikant höher als beim M2. Seit Frühjahr 2020 wird ein Kriechversuch am Material M2 mit anisotropem Spannungszustand durchgeführt (Deviatorspannung 10 MPa).
- 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 sowie die Erstellung des HJB und JB.
- AP9: Die Prüfkörper konnten noch nicht zur Verfügung gestellt werden, da die Kernbohrungen in der WIPP Corona-bedingt nicht wie geplant durchgeführt werden konnten. Zu welchem Zeitpunkt die Kerne gebohrt und an die GRS gesandt werden können, ist derzeit nicht absehbar.

4. Geplante Weiterarbeiten

Alle Versuche werden entsprechend des aufgestellten Versuchsplans 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Salzkompektion 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 ein Projektgespräch am 29.01.2020 im „Energieforschungszentrum Niedersachsen“ in Goslar stattgefunden. Innerhalb des Projekttreffens wurden die aktuellen Stände der Laborversuche vorgestellt und Vorschläge für weitere Experimente diskutiert. Es wurde ein Überblick über Methoden der Mikrostrukturuntersuchung gegeben und neue Modellierungsergebnisse vorgestellt. Die GRS beteiligt sich an den Modellierarbeiten aufgrund langjähriger Erfahrungen mit dem Simulator CODE_BRIGHT.

Ein weiteres Projektgespräch fand virtuell als Videokonferenz am 13.05.2020 statt. Es wurde das Vorgehen für die Erstellung des Abschlussberichts besprochen.

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 zu modellieren. Außerdem beschäftigte sich die GRS intensiv mit der Erstellung des Abschlussberichts.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 vorkompakterter 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 kompakterter 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 29.01.2020 ein Projektgespräch am Energieforschungszentrum Niedersachsen und am 13.05.2020 ein Projektgespräch über Videokonferenz 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. Die Modellierungen zum TK031 wurden weitergeführt. Weiterhin wurden auch der Versuch TK 033 der BGR sowie der Versuch TUC-V2 in die Betrachtungen einbezogen. In diesem Zusammenhang wurde analysiert, welche Stoffmodelle sich aufgrund der durch sie erfassten Prozesse grundsätzlich zur Modellierung der einzelnen Versuche eignen. Bisher erzielte Anpassungsergebnisse wurden diskutiert. Zur Bearbeitung der Fragestellung der Barrierewirkung wurden als Voraussetzung für Laboruntersuchungen durch das IfG hochkompaktierte Probekörper hergestellt, die kleine Porositäten aufweisen. In diesem Zusammenhang wurden verfügbare Stoffmodelle daraufhin untersucht, welche funktionalen Abhängigkeiten sie enthalten, die möglicherweise für den kleinen Porositätsbereich maßgeblich sind. Erste Textbeiträge für den Abschlussbericht wurden erstellt.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Mit der von der TU BAF im ELSA-Vorhaben entwickelten Salzgrus-Rezeptur MOBSM (ohne Überkorn) wurden Vorversuche zur definierten Vorkonsolidierung von Salzgrus in der großen Versatzdruckzelle des IfG durchgeführt. Dabei wurde Salzgrus (natürlich) trocken bzw. feucht unter Zugabe von 1 M % H₂O in 4 Stufen (mit jeweils einer Woche Haltezeit) unter einer Auflast bis ca. 4.500 kN (bzw. einer nominellen Axialspannung von $\sigma_1 = 20$ MPa) definiert konsolidiert. In beiden Versuchen wurde eine Restporosität von ca. 12 – 15 % erreicht, wobei die Extrapolation der Versatzdruckkurve der wegen eines Maschinendefekts abgebrochenen Versuchs der „feuchten“ Probe eine mögliche Endporosität von ca. 5 % ergab.

Aus der „trockenen“ Großprobe wurden Probenzylinder in zwei Größen ($\emptyset/l =$ ca. 6/12 cm und 10/20 cm) hergestellt. Über die Vermessung der Prüfkörper sowie Durchschallung wurde die Restporosität überprüft sowie eine ausreichende Homogenität der Proben festgestellt.

Aktuell laufen noch fünf isostatische Kriechversuche (drei trocken sowie zwei feucht, 1 M % H_2O) bei Belastungsstufen $p = 1, 5, 10, 20$ und 30 MPa mit einer Gesamtversuchszeit von ca. 200d. Bei der am höchsten eingespannten „feuchten“ Probe wurde dabei eine nominelle Restporosität von ca. 1 % erreicht. Die Extrapolation der Versuchskurven der „feuchten“ Proben dokumentiert, dass innerhalb von < 10 Jahren eine Restporosität von ca. 1 % erreicht wird.

Die neuen IfG-Prüfstände zur Salzgruskompaktion werden weiter komplettiert und erprobt.

AP3: Der im bisherigen Projekt erreichte Stand wurde durch weitere Nachrechnungen vertieft. Zunächst wurde als weiterer Referenzversuch der Versuch TK-033 (BGR) gewählt. Wie bei TK-031 war das Material Salzgrus aus Asse-Speisesalz mit maximaler Korngröße von 8 mm und ca. 0.05 % Feuchtigkeit. Auch die Versuchsdurchführung war analog zu TK-031, es wurden lediglich andere Laststufen gewählt. Auch hier konnte das experimentelle Resultat zufriedenstellend reproduziert werden; die bereits vorher festgestellte mangelnde Prognosefähigkeit des cwipp-Modells zeigte sich darin, dass die zur Nachrechnung ermittelten Stoffparameter erheblich von denen für TK-031 abwichen. Ein einheitlicher Parametersatz für das zugrundeliegende Material kann also nicht beide Versuche wiedergeben.

Der dritte Referenzversuch TUC-V2 weist einen komplexeren Lastpfad auf: Die isotrope Spannung wird in mehreren Stufen von 4 auf 20 MPa erhöht; innerhalb der Laststufen sind Phasen mit einer Differenzspannung von 8 MPa zwischengeschaltet. Im cwipp-Modell, auch in der derzeit vom IfG verwendeten Verallgemeinerung, hängt die Volumenkompaktionsrate nicht von der Differenzspannung ab, so dass klarerweise das Verhalten im Versuch nur in gemittelter Form nachvollzogen werden kann.

Aus der Bewertung der Modellierungsergebnisse konnten damit sowohl Schwachstellen des cwipp-Modells aufgezeigt werden (die auch in mehreren Varianten weiterbestehen) als auch Anforderungen an ein Laborprogramm zur Entwicklung und Validierung verbesserter Stoffmodelle abgeleitet werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Aktuell werden die vorliegenden Ergebnisse in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern für den Abschlussbericht ausgewertet und Empfehlungen für ein Folgevorhaben erarbeitet.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Weiterführung und Auswertung von Vorkompaktions-Versuchen mit dem repräsentativen Material und mit einem definierten Wassergehalt in der Probe im Wert von 0,1 %, 0,5 % und 1 %. Angestrebter Zielwert für die Endporosität des Prüfkörpers liegt im Bereich 10 % - 20 %. Diese Serien dienen sowohl zur Sammlung von Erfahrungen zu passenden Randbedingungen zum Erreichen des angestrebten Zielwertes für die Endporosität des Prüfkörpers, als auch zur Erstellung der Prüfkörper für die weiteren mikroskopischen und makroskopischen Untersuchungen.

Durchführung mit einem auf diese Weise vorkompaktierten Prüfkörper eines zweiten Kompaktionsversuchs ‚TUC-V2‘ in einer Triaxialzelle mit innovativen Randbedingungen: mehrstufig isotrop mit deviatorischen Zwischenphasen. Das Ziel besteht in der Bildung einer experimentellen Datenbasis für die bisher wenig untersuchte Abhängigkeit des Kompaktionsprozesses von der deviatorischen Beanspruchung.

AP3: Drei weitere Modifikationen im Stoffmodell *C-WIPP-TUC* bezüglich (a) der 3D-Verteilung der Deformationen; (b) der Einführung eines neuen Einflussfaktors in die Stoffmodellformulierung – deviatorische Beanspruchung und (c) der weiteren Modifikation des funktionalen Zusammenhangs zwischen den volumetrischen Verzerrungsraten und der Porosität.

Die Notwendigkeit dieser Modifikationen wurde im Rahmen der Validierungsarbeiten anhand von den Messdaten der drei für das Benchmark ausgesuchten Langzeitversuche TK-031 (BGR), TK-033 (BGR) und TUC-V2 festgestellt. Die Funktionalität der neuen Modifikationen wurde dann im zweiten Schritt durch eine weitgehend zutreffende Nachrechnung dieser Versuche mit der modifizierten Variante des Stoffmodells *C-WIPP-TUC* demonstriert.

Zusätzlich wurden diese Nachrechnungen mit dem Stoffmodell *C-WIPP-TUC* mit den Nachrechnungen mit dem Original-Modell *C-WIPP/Itasca* verglichen: insbesondere fällt der Vorteil des modifizierten Modells ins Gewicht bei der Nachrechnung des Versuchs TUC-V2, da dort ein, im Vergleich zu den Versuchen TK-031 und TK-033, zusätzlicher Einflussfaktor angesprochen wird – deviatorische Beanspruchung, welches im Stoffmodell *C-WIPP/Itasca* für das Kompaktionsprozesses nicht berücksichtigt wird.

AP4: Erstellung des TUC-Anteils im Abschlussbericht.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschließende Arbeiten zur Erstellung des TUC-Anteils im Abschlussbericht.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: DMT entwickelte die Rezeptur des low-pH Betons weiter. Mit der Rezeptur „S5“ liegt nun ein Baustoff vor, der auch die gewünschte Festigkeit aufweist und als endgültige Rezeptur betrachtet wird. Hierfür werden auch die geplanten geochemischen Alterationsrechnungen durchgeführt.
- AP5: Die begonnenen Arbeiten zur Identifikation von Wechselwirkungen wurden fortgeführt. Die weitere Literaturrecherche erfolgte für die Schwerpunkte Entwicklung während der Betriebszeit und Langzeitentwicklung. Aus der Recherche ist bekannt, dass während der Betriebszeit keine signifikanten Korrosionsprozesse/Schädigungen am Ausbau zu erwarten sind. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist aber die Verwendung von sulfatresistentem Zement. Für die Bewertung der Entwicklung über lange Zeiträume sind nur wenige Quellen für low-pH-Baustoffe bekannt und zeigen teils widersprüchliche Ergebnisse.
- AP6: Im Rahmen des AP6 soll eine Abschätzung des Langzeitverhaltens der entwickelten Betonbaustoffe unter Endlagerbedingungen erfolgen. Diese Abschätzung besteht aus einem hydromechanischen Teil und einem geochemischen Teil. Basierend aus den Erkenntnissen aus AP5 wird erwartet, dass die Korrosion des Baustoffes während der Betriebszeit nur einen untergeordneten Einfluss auf die Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit hat. Die mechanischen Einwirkungen sind für die Auslegung relevant und können über Modellrechnungen identifiziert werden. Der aktuelle numerische Ansatz, der von BGE TECHNOLOGY verwendet wird, basiert auf der traditionellen elasto-plastischen Theorie. Dieser Ansatz berücksichtigt einen zweiten Satz von Materialparametern, die dem Zustand des Wirtgesteins am Ende der Lebensdauer von Lagerstollen und Stollen entsprechen, um zeitabhängige Effekte des Tonsteins zu berücksichtigen. Dieser Ansatz, der für Strukturanalysen gut geeignet ist, eignet sich nicht für die numerischen Sicherheitsanalysen von Endlagern im Tonstein, da das zeitabhängige Verhalten des Gesteins eine wichtige Rolle bei den allgemeinen thermo-hydro-mechanischen Phänomenen spielt, die in einem Endlager stattfinden. Ergänzend wurde deshalb die numerische Analyse mit Hilfe eines Stoffmodells durchgeführt, das zeitabhängige Effekte im Gestein berücksichtigt. Parallel wurde auch die Wirksamkeit einer kompressiblen Hinterfüllung untersucht. Die Arbeiten dazu wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen.
- Auf Basis der erstellten Leistungsbeschreibung wurden Angebote für die numerische Abbildung der zu erwartenden Korrosionsprozesse an den entwickelten zementbasierten Baustoffen eingeholt. Mit der Durchführung der Berechnungen wurde GRS beauftragt. Zur Simulation der Korrosion der zementbasierten Baustoffe wurde zur Qualitätssicherung und Absicherung der Ergebnisse ein diversitärer Ansatz gewählt, wobei hier die Codes zum reaktiven Stofftransport MARNIE-CHEMAPP sowie TOUGHREACT zum Einsatz kommen. Die Bereitstellung von thermodynamischen Daten bzw. Datenbasen erfolgt im Rahmen des THEREDA-Projektes. Die Arbeiten wurden im Berichtszeitraum begonnen und werden bis August 2020 andauern.
- AP9: Mit der Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen. Als erste Schritte wurden eine Grobgliederung erstellt und bestehende Textteile aus abgeschlossenen APs in den Entwurf integriert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP6: Die Abschätzung des Langzeitverhaltens des entwickelten Ausbausystems bzw. der enthaltenen Baustoffe wird weitergeführt.
- AP8: Die identifizierten offenen Fragestellungen werden zwischen den Projektpartnern diskutiert. Ziel ist es, neben der Dokumentation der offenen Punkte auch eine vorläufige Priorisierung der Punkte durchzuführen.
- AP9: Die Erstellung des Abschlussberichtes wird weitergeführt.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

Für die „kurzlebigen“ Einlagerungsstrecken wurden die geotechnischen Modellrechnungen mittels der Software FLAC 2D weitergeführt. Die bisherigen Betrachtungen für ein 3-fach Streckensystem wurden auf ein aus neun parallelen, gleichzeitig geöffneten Strecken bestehendem System erweitert. Die Berechnungen wurden für die Teufen 750 m und 1000 m mit einer typischen einaxialen Druckfestigkeit des Tongesteins von 20 MPa durchgeführt. Für eine Teufe von 750 m liegen auch bei einem 9-fach Streckensystem stabile Verhältnisse vor, sofern die Pfeilerbreite mindestens die doppelte Streckenbreite (16 m) beträgt. Für ein aus 9 Strecken bestehendes System bedarf es zur Gewährleistung stabiler Verhältnisse in 1000 m Teufe Pfeilerbreiten von mindestens 32 m (entsprechend der vierfachen Streckenbreite).

Es wurden Betonrezepturen mit sehr niedrigen pH-Werten (8,7 bis 8,9) entwickelt. Die Konsistenz des Frischbetons wurde auf der Basis von Erfahrungswerten für gut verarbeitbare und als pumpfähig einzustufende Betone eingestellt. Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt nach 28 Tagen zwischen 50 und 60 MPa und ist mit geringfügigen Modifikationen noch weiter steigerbar.

Wesentlicher Bestandteil der Arbeiten im Berichtshalbjahr war die Untersuchung des gebirgsmechanischen Langzeitverhaltens von hochtragfähigen geschossenen Ausbausystemen. Einschalige starre geschlossene Ausbausysteme, bei denen der Ausbau unmittelbar Vorort eingebracht wird, zeigen bei gängigen Betonfestigkeiten (von 20 und 50 MPa) sowie einer Betondicke von 55 cm bereits in 750 m Teufe zwar noch geringe Hohlraumverformungen, aber bereits eine durchgehende Überbeanspruchung des Ausbaus. Zur Vermeidung einer Überbeanspruchung des Ausbaus sollte die Betonfestigkeit 100 MPa betragen. Im Tongestein ist nicht immer auszuschließen, dass Grubenbaue zusätzlichen Belastungen durch Quellen oder Kriechen des Gesteins ausgesetzt sind. Insbesondere dann, wenn Zusatzbelastungen durch Quellen oder Kriechen nicht auszuschließen sind, benötigen in größeren Teufen (> 750 m) unmittelbare Vorort eingebrachte starre einschalige Ausbausysteme extreme Betonfestigkeiten, um bei langen Standzeiten nicht überbeansprucht zu werden. Daher ist es sinnvoll, zweischalige Systeme (Prinzip NÖT) einzusetzen. Hierbei werden erste Hohlraumverformungen zugelassen, was zu einem Abbau der Spannungen und somit zu einer reduzierten Belastung auf die Innenschale des Ausbaus führt. Ohne Zusatzbelastungen durch Quellen oder Kriechen ist hier nach den Modellrechnungen eine Betonfestigkeit von 50 MPa ausreichend, um bei einer Gesamtausbaudicke (Innenschale + Außenschale) von 55 cm in 1000 m Teufe im Tongestein (Gebirgsfestigkeit 20 MPa) eine Überbeanspruchung des Ausbaus zu verhindern. Berücksichtigt man zusätzlich Quelldrücke, so ist dieser Ausbau in 750 m Teufe ausreichend. In 1000 m Teufe zeigt sich jedoch eine durchgehende Überbeanspruchung bei Auftreten eines maximalen Quelldruckes von 2 MPa. Ein Ausbauschale mit 100 MPa Festigkeit zeigt bei diesen Randbedingungen keine signifikanten Überbeanspruchungen mehr.

Deutlicher kritischer als Quelldrücke ist der Einfluss des Kriechens. Eine Innenschale mit 100 MPa wäre in 750 m ausreichend, wenn man deren Dicke mit ca. 60 cm ansetzt (Gesamtdicke des Ausbaus: 75 cm), wobei auch da lokale Überbeanspruchungen nicht auszuschließen sind. Bei 1000 m kommt dieser Ausbau auch an seine Grenzen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Da sehr hohe Betonfestigkeiten in-situ nur mit sehr hohem Aufwand zu realisieren sind, soll im Rahmen dieses Projektes abschließend geprüft werden, inwieweit nachgiebige Ausbausysteme diesen Aufwand reduzieren können und den Einsatz von reduzierten Betonfestigkeiten erlauben.

Auf Grundlage der in Rahmen dieses Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse wird weiterer Entwicklungsbedarf abgeleitet.

Mit der Erstellung eines gemeinsamen Abschlussberichtes (DMT und BGE TEC), der die wesentlichen Ergebnisse zusammenfasst wird das Forschungsvorhaben abgeschlossen.

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 31.12.2020		Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Für das Konzept „multipler ewG“ kann weitgehend auf die aus ERNESTA bekannten bzw. dort entwickelten Techniken und Technologien zurückgegriffen werden. Die inhaltlichen Arbeiten zu diesem AP wurden abgeschlossen. Mit der Dokumentation der Ergebnisse wurde begonnen.
- AP3: Zur besseren Beurteilung der Spannungsentwicklung und Spannungsverhältnisse wurde das System im Innenliner in verschiedenen numerischen Modellen umgesetzt. Parallel dazu wurde auch ein analytischer Ansatz auf Basis der Pfahltheorie geprüft.
- 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 eine Sandverfüllung verzichtet. Das hydrodynamische Lösen des Bentonitbuffers wurde in anderen Endlagerprogrammen als Vorzugsvariante identifiziert. 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 als Referenz genutzten Ca-Bentonit gilt dies nicht. Das Lösen muss hier rein hydrodynamisch erfolgen. Die benötigten Drücke und Volumenströme wurden bestimmt. Aufbauend darauf erfolgte eine grobe Dimensionierung der Anlage. Die Erwartung, dass das Freispülen der Behälter mit einem hohen technischen Aufwand verbunden ist, wurde durch die vorläufige Dimensionierung bestätigt. Zur Vereinfachung des Rückholungsprozesses wurden deshalb Alternativen geprüft. Unter der Annahme, dass am Ca-Bentonit festgehalten wird, wurde für die Rückholung aus noch nicht gesättigten Bentonitbuffern das Freischneiden/Überbohren als Vorzugsvariante identifiziert. Eine entsprechende technische Anlage existiert gegenwärtig nicht. Vergleichbare technische Anwendungen sind aber bekannt. Die Anforderungen an die Technik wurden zusammengestellt und ein Grobkonzept erstellt. Diese technische Lösung ist aber in gequollenem Bentonit nicht umsetzbar. Das Freispülen wird damit unvermeidlich. Mit dem Projektteam CHRISTA-II wurde diskutiert, in wieweit der Einsatz von NA-Bentonit möglich/denkbar ist. Mit dieser konzeptionellen Änderung kann der Spülprozess vereinfacht werden.
- AP5: Für das Konzept „überlagernder ewG“ kann weitgehend auf die aus ERNESTA bekannten bzw. dort entwickelten Techniken und Technologien zurückgegriffen werden. Die inhaltlichen Arbeiten zu diesem AP wurden abgeschlossen. Mit der Dokumentation der Ergebnisse wurde begonnen.
- AP6: Die Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen. Zu diesem Zweck wurde eine Grobgliederung entwickelt und die bestehenden Textteile aus bereits abgeschlossenen AP's in den Entwurf integriert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Das Systemverhalten im Innenliner wird mit Hilfe numerische Modelle weiteruntersucht.
- AP4: Die Entwicklung einer technischen Lösung zur Entnahme von trockenem/erdfeuchtem Bentonit als Alternative zum Freispülen wird weitergeführt.
- AP6: Die Dokumentation der Projektergebnisse in einem Abschlussbericht wird weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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, den Verschluss von hochradioaktiven Abfällen in einem Bergwerk sicher zu gestalten. Die Kenntnisse zur Verdichtung der Auflockerungszonen im Kontaktbereich zwischen Wirtsgestein und Dammbauwerk sind von Bedeutung, 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 halbertechnischen 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 oder der zu injizierende Porenraum, werden unterschiedliche Injektionsmittel auf Ihre Verwendbarkeit getestet.

AP3: Vorversuche zur Konzipierung der Versuchsanstallation

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 100 mm Durchmesser wurden aus dem Umgebungsgebirge gewonnen.

Diese Proben wurden auf ihre Gaspermeabilität und Porengrößenverteilung untersucht. Das Arbeitsprogramm für die Laborproben wurde überarbeitet um, mehr Untersuchungen an den jeweiligen Proben durchzuführen.

Mithilfe von Oberflächenpackern wurde an unterschiedlichen Positionen der Strecke die effektive Gaspermeabilität in der Auflockerungszone des Steinsalzes gemessen. Die Oberflächenpacker maßen dazu die Permeabilität an der Oberfläche der Salzkontur sowie 3 cm, 5 cm und 7 cm hinter dem jeweiligen Ausgangspunkt. Die Permeabilität der einzelnen Messungen lag zwischen $6,5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ bis zu $7,0 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$. Interessant ist, dass an der Oberfläche des Salzes eine niedrigere Permeabilität gemessen wurde als in den dahinterliegenden Bereichen. Je weiter der Messpunkt von der Oberfläche entfernt gewesen ist, desto höher wurde die Permeabilität. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass sich durch die Reaktion des Salzes mit der Luftfeuchtigkeit die oberflächennahen Poren besser abgedichtet haben als die sich dahinter befindlichen.

Weitere Auswertungen der Permeabilität in der Sohle (Boden) sowie in einem Bohrloch stehen noch aus.

AP2: Der Magnesiabeton setzt sich aus den Bestandteilen Steinsalz, Magnesiumchloridlösung und Magnesia zusammen. Ein geeigneter Zulieferer, der das Steinsalz unter Berücksichtigung der nötigen Korngrößenverteilung liefert, wurde ermittelt. Die Vorversuche wurden aufgrund der Corona-Epidemie auf Juli verschoben.

AP3: Ein Schlauchpackersystem mit steuerbarer Permeabilität wurde entwickelt und erfolgreich getestet. Dieser kann volumenstabil betoniert werden, ohne dass die Funktionsfähigkeit beeinflusst wird.

Verschiedene Simulationen mit FLAC3D haben ergeben, dass bei der Dammerrichtung die Anzahl der Lagen des Baustoffes nur einen kleinen Temperaturunterschied ausmachen. Aus diesem Grund sollen handhabungstechnische Aspekte einen größeren Einfluss bei der Bauwerkserrichtung bekommen.

AP4: Für die Dammerrichtung sind Testversuche vorbereitet worden. In diesen Testversuchen werden sowohl die vorhandenen Bohrlöcher verfüllt, als auch die Nutzung von Armierungsmatten zur Reduzierung von Dehnungsrissen getestet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Vorversuche erfolgen im Juli. Handhabungserfahrungen und labortechnische Auswertungen dieser Versuche ermöglichen potentielle Fehler zu minimieren, welche bei der Dammerrichtung auftreten können.

Kompositproben (bestehend aus Gebirge und dem Zement des Verschlussbauwerkes) sollen hergestellt und der Kontaktbereich zwischen den Materialien untersucht werden. Mithilfe dieser Kompositproben wird dann das am besten geeignete Injektionsmittel ermittelt.

Die Vorbereitungsmaßnahmen zur Dammerrichtung sollen Mitte September soweit abgeschlossen sein, dass der Damm Ende September/Anfang Oktober gepumpt werden kann

5. Berichte, Veröffentlichungen

Buchbeitrag mit dem Titel: „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches Phase III: Vertiefung Kenntnisstand: Kontaktbereich & Injektionsmittel, In-situ-Versuche“ in: O. Langefeld, A. Mrotzek-Blöß (2020), Forschungsfeldkolloquium 2020, 1. Auflage, Clausthal-Zellerfeld, Papierflieger Verlag GmbH, ISBN 978-3-86948-767-0

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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-Pososimetrie 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: Von IBeWa hergestellte Steinsalzproben wurden mittels μ CT untersucht. Es wurde ein Arbeitsablauf entwickelt, um mit Quecksilber-Porosimetrie (Arbeitsprogramm IBeWa) vergleichbare Porenradienverteilungen abzuleiten.
- AP2-AP4 sind überwiegend von den Projektpartnern zu bearbeiten. Hierüber wird im Zwischenbericht zum Teilprojekt A des Koordinators (TU Clausthal) berichtet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Verbesserung der Parametrisierung der μ CT durch Abgleich mit Quecksilber-Porosimetrie. Sobald Proben aus dem Bauwerksmaterial zur Verfügung stehen, werden sie mit Hilfe des bewährten Verfahrens untersucht.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 POLLUX®-Behältern (F&E Programm DEAB) und die vertikale Bohrlochlagerung von Brennstabkaskillen 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

- AP3: Für die Transport- und Einlagerungstechnik für das Konzept der Streckenlagerung wurde mit der Konzeptentwicklung begonnen.
- AP4: Für die Weiterentwicklung der Transport- und Einlagerungstechnik zum Konzept der vertikalen Bohrlochlagerung wurde ein Anforderungskatalog erarbeitet. Dieser wurde systematisch sortiert und in ein Lastenheft überführt. Mit Hilfe dieses Lastenhefts wurden Optimierungsbedarfe identifiziert. Für die Einlagerungstechnik waren vor allem Anpassungen aufgrund regulatorischer Anforderungen notwendig. Z. B. wurde der Greifer für Brennstabkokillen so angepasst, dass er auch bei Bruch einzelner Segmente die Kokille sicher hält. Die entsprechende Konzeptplanung wurde abgeschlossen und eine Entwurfskonstruktion für die Einlagerungstechnik erstellt. Für die vertikale Bohrlochlagerung wurde außerdem ein weiteres Konzept erarbeitet, um auf einen Bohrlochkeller im Kristallingestein verzichten zu können. Diese Anforderung stammt aus dem laufenden Vorhaben CHRISTA II (FKZ 02 E 11617 A).
- AP5: Für die Transport- und Einlagerungstechnik beim Konzept der horizontalen Bohrlochlagerung wurde ein Konzept erarbeitet, das den Transportwagen und die Einlagerungstechnik auf einem schienengebundenen Fahrzeug vereint. Der Einlagerungsvorgang erfolgt pneumatisch. Diese Weiterentwicklung basierte vor allem auf Sicherheitsbedenken bezüglich des Konzepts, das im Vorhaben KOSINA (02 E 11405A) erarbeitet wurde. Für die entsprechend angepasste Einlagerungsvariante wurde eine Entwurfskonstruktion erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zu AP3, 4 und 5 werden weitergeführt. Insbesondere stehen die Fertigstellung der Konzeptplanung und die Entwurfskonstruktion zu AP3 inklusive Sicherheitsuntersuchungen, die Entwurfskonstruktion der alternativen Einlagerungsvariante der vertikalen Bohrlochlagerung im Kristallin, abschließende Sicherheitsuntersuchungen sowie die Animation der Einlagerungsvorgänge in allen AP aus.

Die Arbeiten am Abschlussbericht (AP6) werden auf der Basis der Aufzeichnungen der Vorhabensbearbeitung begonnen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 Kollorado-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 d³f++ 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: Die Arbeiten zur Segmentierung der CT Daten des LIT- Packers und Differenzierung der Klufthohlräume, verschiedenen Bentonittypen (Ni-/Zn- Montmorillonit, Febex-Bentonit) bzw. der Radionuklid-Vials im Vergleich zur Uni Bern wurden fortgesetzt. Die Aufbereitung und Na-Homoionisierung der Tonmineralfraktion der verschiedenen Bentonite (Febex, MX-80) zur Untersuchung des Einflusses akzessorischer Gemengteile auf die Bentonit-Erosion wurde erfolgreich durchgeführt. Ein Na-Montmorillonit-Anteil von 98,1 % bzw. 98,7 % konnten mittels XRD quantifiziert werden. Die Planungsphase zum Versuchsaufbau (Setup, Erosionszelle etc.) ist abgeschlossen. 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. Die geplante Probennahme-Strategie des LIT-Bohrkernes verzögert sich durch den Bau einer geeigneten Säge und dem Zugang zum Felslabor. Die Probenahme wird von Nagra koordiniert und zusammen mit den KOLLORADO-e3 Partnern durchgeführt.
- AP2: Die Einreichung des Manuskripts der thermodynamischen Simulationsrechnungen der Mischwässer verzögerte sich durch notwendige redaktionelle Überarbeitungen. Die von internationalen Modellierungsgruppen durchgeführten CFM thermodynamischen Benchmark Kalkulationen sind hinsichtlich der Verwendung von Silica-Spezies und der Auswahl der Löslichkeitsbestimmenden Festphasen sind zusammengetragen und es ist ein Meeting zwischen FSU und GRS in Berlin für die zweite Jahreshälfte geplant.
- AP3: Zur Koordination wurden mehrere bilaterale online Besprechungen 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). Quantitative Charakterisierung der Erosion des im i-BET-Experiments eingesetzten Montmorillonits (speziell zur gravimetrischen Erosion).
Konstruktion der Erosionszellen anhand der angefertigten CAD-Modelle in Kollaboration mit KIT-INE. Herstellung der in den Erosionsexperimenten eingesetzten Proben-Tabletten mit einer gezielten Zugabe von akzessorischen Mineralphase unterschiedlicher Größenverteilung und Reaktivität (vorerst geplant Quarz und Sulfat). Durchführung der Erosionsexperimente mit Fokus auf in-situ und post-mortem Analysen des Quellverhaltens, des partiell aufgelösten Quelldrucks unter Verwendung verschiedener Tekscan™-Drucksensor-Systeme und der Kolloidentstehung mittels NTA sowie weiterer nasschemischer Analysen.
Weitere Planung der 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.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Noseck, Schäfer, 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
- Seher, H., H. Geckeis, T. Fanghänel, T. Schäfer (2020): Bentonite Nanoparticle Stability and the Effect of Fulvic Acids: Experiments and Modelling, *Colloids Interfaces*, 4(2), 16
- Huber, F. M., D. Leone, M. Trumm, L. Moreno, I. Neretnieks, A. Wenka, T. Schäfer (2020 in review): Impact of fracture geometry on bentonite erosion - a numerical study, *Int. J Rock Mech. Min.*
- Bouby, M., S. Kraft, S. Kuschel, F. W. Geyer, S. Moisei-Rabung, T. Schäfer and H. Geckeis (2020, in review): Colloid generation from compacted raw or homo-ionic MX80 bentonite in a low ionic strength carbonated synthetic (ground) water under quasi stagnant flow conditions, *Appl. Clay Sci.*

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Kollorado-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

Tests der LA-ICP-MS im Hinblick auf die inaktiven LIT-Mock-up-Experimente mit Schwerpunkt auf der Probenvorbereitung:

Um Proben aus dem inaktiven LIT-Mock-up-Experiment unter Erhalt der Bentonitgelstruktur zu nehmen, wurden Harzeinbettungstests durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass das Bentonitgel eingebettet in Araldite 2020-Harz innerhalb des Harzes intakt blieb, wenn es einseitig auf Plexiglas liegend und mit einer Seite offenliegend zur Umgebungsluft, mit einem Wasser/Ethanol-Gemisch (70 % bis 100 %, notwendig zur Trocknung und Aushärten des Harzes) benetzt wird. Wurde das Bentonitgel allerdings zwischen zwei Plexiglasplatten eingebettet und benetzt, um die Geometrie des LIT-Mock-up-Experiments nachzuahmen, wird die Gelstruktur beschädigt. Daher musste eine andere Probenahmestrategie angewandt werden. Hierzu wurden die Bentonitgel-Proben von ca. 10 mm Durchmesser an ausgewählten Positionen der Plexiglasabdeckung ausgebohrt. Auf diese Weise wurden sechs Proben aus dem inaktiven LIT-Mock-up-Experiment entnommen und einer REM- und EDX-Analyse unterzogen, wobei die Auswertungen noch laufen. In Vorbereitung auf die erste Testphase der LA-ICP-MS wurden hierzu NIST-Referenzmaterialien (SRM 612 und SRM 614) beschafft.

Weiterentwicklung der LIBD-Technik für den Nachweis von Tonkolloiden im Rahmen der geplanten Experimente:

Drei LIBD-Systeme wurden unter Verwendung von Latex-Nanopartikeln mit 20 nm bis 900 nm Partikeldurchmesser bei verschiedenen Konzentrationen von 0.5 ppb bis 500 ppm kalibriert. Mit diesen kalibrierten Systemen werden demnächst Proben von MX80 Ton-Nanopartikel-Suspensionen in sechs verschiedenen Elektrolyten gemessen. Das Ziel ist es, standardisierte Ton-Nanopartikel-Suspensionen mit bekannten Größenbereichen mittels Ultrazentrifugation herzustellen und mittels PCS und A4F-Technik genau zu charakterisieren. Durch Messungen an den LIBD-Systemen – kalibriert mit Latex-Nanopartikeln – wird geklärt, ob ein Korrekturfaktor zur Charakterisierung der Ton-Nanopartikel verwendet werden muss und ob es idealerweise eine lineare Beziehung zwischen den beiden Datensätzen gibt.

Analyse weiterer Grimsel-Grundwasserproben mittels AMS, um die In-situ-Diffusion der Radionuklidtracer ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{99}Tc in LIT zu überprüfen.

Ein neuer Satz Grundwasserproben aus dem In-situ-LIT-Experiment wurde für die AMS-Analyse der Tracer ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{241}Am vorbereitet. In diesen Proben, die einen Zeitraum von 129 Tagen bis zum Ende des Experiments umfassen, wurde die Konzentration von ^{99}Tc bereits bestimmt. Die bevorstehenden AMS-Ergebnisse zum Durchbruch der Aktiniden-Tracer werden zusammen mit den zuvor mit dem ^{99}Tc -Tracer erhaltenen Ergebnissen in einer von Fachkollegen begutachteten Publikation diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weitere Analysen einschließlich LA-ICP-MS, FTIR, XRD und ICP-MS sind im Rahmen der LIT-Mock-up-Experimente geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 d³f++ 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: Zusammenstellung und Auswertung der neuen Ergebnisse von NUMO, KAERI und CIEMAT zum internationalen thermodynamischen Benchmark. Beginn der Dokumentation der thermodynamischen Benchmarkrechnungen zur Veröffentlichung für Applied Geochemistry.
Erstellung eines aktualisierten Modells zur Beschreibung des Remobilisierungsexperiments REMO 2.
Beginn einer Masterarbeit zur Weiterführung der Modellrechnungen mit PHAST zu den gekoppelten Prozessen im Nahbereich des LIT-Experiments.
- AP3: Durchführung eines virtuellen Projekttreffens mit allen Partnern. Diskussion des Stands der Arbeiten und Festlegung der weiteren Vorgehensweise.
Virtuelles Treffen und Diskussion mit CIEMAT zu den mit CHESS erzielten Ergebnissen und Einbeziehung in die Auswertung zum Thermodynamischen Benchmark.
Durchführung von Arbeitstreffen mit FSU zur Diskussion der neuen Ergebnisse zu den thermodynamischen Benchmarkrechnungen, zur Planung des zweiten Teils des Benchmarks mit Einbeziehung von Ionenaustausch und Oberflächenkomplexierung an Mineralphasen des Bentonits und des kristallinen Wirtsgesteins im Nahbereich des LIT-Experiments sowie zum Abgleich experimenteller Daten und Randbedingungen und zugehöriger Modellannahmen für das Experiment REMO 2.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Fertigstellung der Veröffentlichung zu den Ergebnissen der thermodynamischen Benchmarkrechnungen der internationalen Partner aus CFM für Applied Geochemistry.
Abstimmung des zweiten Teils des thermodynamischen Benchmarks mit allen Teilnehmern und Verschickung der Unterlagen.
Durchführung aktualisierter Modellrechnungen zum Experiment REMO 2 mit dem Transportcode COFRAME.
Überprüfung der Vorhersagerechnungen zur Diffusion im Bentonit anhand von Elementverteilungen im LIT-Bohrkern, sobald die Ergebnisse vorliegen.
Weiterführung der Masterarbeit zu den Modellrechnungen mit PHAST zu gekoppelten Prozessen im Nahbereich des LIT-Experiments.
- AP3: Durchführung weiterer Projekttreffen zum Austausch von Ergebnissen und Koordination der Arbeiten.
Abschließendes Treffen mit allen beteiligten Partnern zur Klärung offener Fragen und Details der Veröffentlichung zum thermodynamischen Benchmark.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Der partielle Freischnitt der Mantelfläche des GV2 ist abgeschlossen. Für die Ultraschallmessungen mit dem LAUS-Gerät der BAM wurden zwei Messfenster vorbereitet. Das Überbohren der mit NaCl-Lösung beaufschlagten Bohrungen B40 (4 m Kernmaterial) und B38 (6 m Kernmaterial) ist abgeschlossen. Weiterhin wurden 9,3 m Vollkernmaterial gewonnen (Bohrungen B47 und B48).
Reine (gesättigte) NaCl-Lösung ist während der Langzeitversuche wenige mm bis max. 2 cm in den MgO-Spritzbeton (GV2) eingedrungen. Bis 1 ... 5 mm Tiefe bildet sich an der Lösungskontaktfläche $\text{Mg}(\text{OH})_2$ als langzeitstabile Phase. Im tiefer liegenden Bereich (2 mm ... 2 cm) bildet sich die 3-1-8-Phase, da hier die Mg^{2+} -Anreicherung der Lösung größer ist. Durch die Anreicherung der anstehenden Lösung mit Mg^{2+} und OH^- kann es infolge Übersättigung zu lokalen NaCl-Ausfällungen kommen. Die $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -„Sperrschicht“ blockiert weitere Phasenumbildungen und weitere Konzentrationsänderungen der anstehenden Lösung.
- AP2: Für den Nachweis der Reproduzierbarkeit der GV2-Rezeptur wurde ein halbtechnischer Spritzversuch und ein In-situ-Großversuch (4,65 m³ in 6 Schichten unterschiedlicher Mächtigkeit) im Steinsalz (Grube Teutschenthal) durchgeführt. Es konnte eine maximale Schichtmächtigkeit von 29,9 cm erreicht werden. Mit zunehmender Schichtmächtigkeit > 12 cm steigt allerdings auch die Maximaltemperatur im Kern auf > 40 ... 80 °C an. Die mit dem Betonpenetrometer gemessene Frühfestigkeit nach 1 h liegt bei ca. 0,1 MPa und steigt nach 3 ... 4 h bis auf 0,15 bis 0,25 MPa.
- AP3: Das Versagen beim direkten Zugversuch kann zur Identifikation der schwächsten Betonierabschnittsgrenzen (BAG) dienen. 4 von 6 Proben (Vollkerne aus der B47 des GV2) versagten direkt an oder in der Nähe von BAG. Die direkte Zugfestigkeit lag bei 3,3 bis > 5 MPa.
- AP4: Noch keine Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Gewinnung von Proben aus dem GV2 durch radiale Bohrungen.
- AP2: Verbesserung der Gleichmäßigkeit beim Trockenspritzen. Halbtechnischer Spritzversuch und In-situ-Spritzversuch mit Steinsalzzuschlag.
- AP3: Haftzugfestigkeit des neu gespritzten MgO-Spritzbetons am Steinsalz, Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit bei unterschiedlichem Probenalter, Gas- und Lösungspermabilität.
- AP4: Noch keine Arbeiten.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Arendt, W. Kudla, D. Freyer, T. Popp, Th. Wilsnack: Investigations on the permeability of MgO shotcrete at the GV2-drift-sealing in the Teutschenthal mine. Beitrag zur EGU-Konferenz, 4.–8.5.2020

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: MCT-Untersuchungen an Proben aus der GV2 nach Präparation bei IfG zur Charakterisierung der Betonierabschnittsgrenzen.
Test PET-Oberflächenpacker.
Start Langzeit PET-Injektionsexperiment mit [^{22}Na]NaCl-Lösung.

AP2: Keine eigenen Arbeiten im Teilprojekt.

AP3: Noch keine Arbeiten

AP4: Noch keine Arbeiten

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1/3: Fortsetzung PET-Injektionsexperimente an weiteren GV2-Proben, gemäß Absprache mit Partnern unter Einbeziehung des initialen Lösungskontakts. Untersuchung weiterer neu gewonnener Kerne.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 31.864,46 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

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

- Bestimmung von Ultraschall-Materialparametern
- Identifikation von Fehlstellen
- Ableitung von möglichen Parametern für eine Qualitätsüberwachung

Die BAM hat Bohrkerne des GV2-Spritzbetons vom Institut für Gebirgsmechanik im Februar 2020 bekommen und die geplante Ultraschall-Materialcharakterisierung mit den Bohrkernen durchgeführt. Die Bohrkerne wurden nachträglich wieder zum Institut für Gebirgsmechanik gegeben, um die Durchführung von mechanischen Prüfungen zu ermöglichen.

Zur Verifizierung früherer Untersuchungen und zur Identifikation von einzelnen Homogenbereichen, die nachfolgend untersucht werden sollen, wurden systematisch zerstörungsfreie Ultraschalluntersuchungen vom seitlichen Aufschluss des Bauwerks GV2 her durchgeführt. Vor diesem Hintergrund hat die BAM TS-Bau GmbH dazu beauftragt, zwei Messflächen auf dem seitlichen Aufschluss des Bauwerks GV2 glatt zu schleifen, um Ultraschallmessungen mit dem Large Apperature Ultrasound System (LAUS) zu ermöglichen. Die Messflächen hatten die entsprechenden Dimensionen von ungefähr 0,86 m x 2 m und 1,3 m x 2 m und wurden nachträglich mit dem LAUS-Gerät im Juni 2020 gemessen.

Weitere Ultraschall-Messungen wurden im Juni 2020 auf eine ungefähr 0,5 m x 1 m Messfläche des ersten Spritzbetonversuch-Baukörpers durchgeführt. Das Ziel dieser Messungen war es, die Machbarkeit und Genauigkeit von Ultraschall-Messverfahren mit dem MIRA-System für den Zweck der Qualitätssicherung von Spritzbetonbauwerken zu testen bzw. verifizieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Bearbeitung und Auswertung der LAUS- und MIRA-Datensätze werden im zweiten Halbjahr 2020 folgen. Die resultierenden Ergebnisse werden den anderen Projektpartnern zur Verfügung gestellt, um Informationen über die Lokation von Ablösungs- bzw. Rissgebiete für gezielte Bohrungen zu liefern. Vorschläge für die Qualitätssicherung bzw. -dokumentation von Ultraschalluntersuchungen werden auch auf Basis dieser Informationen 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020
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 die Arbeiten zu AP1 weitgehend abgeschlossen. Die Beschreibung der Optionen zur Ausgestaltung der Entsorgungsschritte Zwischenlager, Eingangslager, Konditionierungsanlage und Endlager standen dabei im Mittelpunkt. Im Zusammenhang mit den Vorbereitungen zu AP2 wurde zusätzlicher Recherche- und Analyse bedarf rückwirkend für AP1 identifiziert. Insbesondere ergab sich die Notwendigkeit, zu den Themen Behälter, Brennelementverhalten und Rückholung stärker ins Detail zu gehen, weil daraus jeweils zusätzliche Anforderungen an die Ausgestaltung der Entsorgungsschritte erwachsen. Zur Rückholung wurde aus diesem Grund ein eigener Abschnitt in die Dokumentation des Vorhabens aufgenommen. Für eine Darstellung der Anforderungen, die aus dem langfristigen Verhalten zwischengelagerter hochradioaktiver Abfälle, insbesondere Brennelemente, erwachsen, ist ein Abschnitt in Arbeit, in dem der Stand von Wissenschaft und Technik dazu kurz zusammengefasst werden soll.
- AP2: Im Rahmen von AP2 wurde an Methoden zur Szenarienableitung gearbeitet, die für die besonderen Anforderungen des Vorhabens WERA geeignet sind. Eine direkte Übertragung bestehender Methoden auf die Aufgabenstellung des Wegemanagements erwies sich als nicht durchführbar. Eine neue Methodik, die auf der Verwendung eines Referenzszenariums und davon abgeleiteten weiteren Szenarien beruht, wurde in Grundzügen aufgestellt und erprobt. Erste Szenarien wurden entwickelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Berichtszeitraum 2/2020 sind folgende Arbeiten geplant:

- Abschluss der Arbeiten zu AP2, inklusive Dokumentation der Ergebnisse
- Identifizierung plausibler Szenarien
- Durchführung der Arbeiten zu AP3, detaillierte Beschreibung ausgewählter Szenarien
- Entscheidung über die Durchführung des Stakeholder-Workshops (AP4) als Präsenz-Veranstaltung oder, wenn nicht möglich, als Online-Format
- Planung des Stakeholder-Workshops
- Vorbereitung des Berichtsentwurfs

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 wird aktualisiert. Dazu gehören Details zum mechanischen Widerlager, zum Aufsättigungssystem und zur Druckkammer sowie zu den DS/ES Materialien und den Sensoren. Der Zeitplan wurde an die COVID-19 bedingte Verschiebung der Schachtabteufung angepasst.
- AP2, 3: Siehe Projektstatusbericht der GRS zu 02 E 11799B.
- AP4: Bei Amberg (AN) wurde eine Testinstallation in einem vertikalen Kunststoffrohr ($d = 1.2 \text{ m}$, $h = 5 \text{ m}$) durchgeführt, um die Materialeinbringung und Instrumentierung zu trainieren, notwendige Einbauzeiten abzuschätzen sowie Schwierigkeiten und Sicherheitsmaßnahmen vorab zu identifizieren.
Es wurden 13 t Calcigel für die DS kompaktiert. Dafür musste der Bentonit angefeuchtet werden. Anschließend wurden aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Probestückkompaktion und dem HTV-7 Optimierungsversuche für die Rücktrocknung sowie die Herstellung des Zwickelmaterials für das binäre Gemisch, welches im Schacht 1 eingebaut werden soll, durchgeführt.
- AP5: Die Sensorliste wurde aktualisiert. Die zukünftige Instrumentierung des Schacht 1 wird, sobald verfügbar, in die webbasierte Visualisierung eingebunden.
- AP6: Mineralogisch/chemische Analysen (KAK, austauschbare Kationen sowie Salzgehaltsbestimmung) der Ausbauproben des HTV-6 wurden begonnen.
Die MiniSandwichversuche Oe9/10 (abgemagerter Secursol UHP mit Pearson water) sowie Oe5/6 (Calcigel mit NaCl) werden kontinuierlich überwacht. Bei den Oe9/10 ist das chemische Gleichgewicht durch Kationenaustauschprozesse nahezu erreicht und die Versuche werden beendet.
Der HTV-7 mit Calcigel und Pearson water wurde durchgeführt. Das für den In-situ-Versuch geplante Back-up hydration system wurde erfolgreich getestet und es wurde wiederholt die Funktionalität der ES nachgewiesen. Es wurde jedoch eine gehinderte Hydratationskinetik der DS beobachtet. Dadurch konnte der Injektionsdruck nur bis 20 bar gesteigert werden und die berechnete Fluidaufnahme war bereits nach rund 5 Monaten erreicht. Der Versuch wurde deshalb beendet. Es wurden Herstellungsbedingungen und QM Maßnahmen für das binäre Bentonitgemisch für das In-situ-Experiment erarbeitet.
- AP7: Siehe Projektstatusbericht des GRS zu 02 E 11799B.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Finalisierung des Testplans (07, 2020)
- AP3, 4: Schachtabteufung und Verschlussinstallation mit Sensoren (8-12, 2020), Herstellung und Lieferung des binären Gemischs für die DS sowie Lieferung des ES Materials (7-8/20)
- AP5: Betrieb (ab 12, 2020)
- AP6: Charakterisierung der Ausbauproben HTV-6 & HTV-7; Durchführung MiniSandwich Oe11 und weitere; QM der DS/ES Materialien während der Verschlussinstallation; Vorbereitung HTV-8; Quelldruckmessungen für Materialparametrisierung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Emmerich, K. et al. (2020) SW-A/Sandwich-HP: WP6 Laboratory works, Poster, Technical Meeting TM-38, Porrentruy, 29-30. Januar 2020

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 wird zurzeit aktualisiert. Außer Details zum mechanischen Widerlager, zur Aufsättigungsanlage, zur Druckkammer und zur Instrumentierung hat sich insbesondere der Zeitplan verändert.
- AP2: Die Instrumentierung des Tonsteins durch BGR und GRS mit Schwerpunkt auf der Umgebung von Schacht 1 wurde abgeschlossen. Sie umfasst Minipiezometer zur Porendruckmessung und Spannungsmonitorstationen in Bohrlöchern sowie zusätzliche verrohrte Bohrungen für seismische und ERT-Messungen. Außerdem wurden von BGR Überbohrversuche zur Bestimmung des horizontalen Spannungszustands durchgeführt. Die eingebauten Sensoren arbeiten weitestgehend zufriedenstellend. Der Porenwasserdruck im Gebirge ist niedriger als erwartet, was bei zukünftigen Simulationsrechnungen zu berücksichtigen ist.
- AP3: Die für April bis Juni 2020 geplante Erstellung der Schächte im Bohrverfahren musste COVID-19-bedingt verschoben werden. Die Schachtabteufung beginnt im August 2020 mit gut viermonatiger Verzögerung. Außerdem wurde der Durchmesser aus gerätetechnischen Gründen von 1.2 m auf 1.18 m verringert. Das Sicherheitskonzept für die Schachtabteufung und das Arbeiten im Schacht wurde mit einer Sicherheitsfirma erarbeitet und den zuständigen Stellen für die Genehmigung eingereicht.
- AP4: Siehe Projektstatusbericht des KIT zu 02 E 11799A.
- AP5: Die Sensorliste wurde aktualisiert. Die bereits erfassten Daten der Sensoren im Gebirge können über ein webbasiertes Werkzeug auf verschiedene Arten visualisiert werden. Die zukünftige Instrumentierung wird, sobald verfügbar, eingebunden.
- AP6: Siehe Projektstatusbericht des KIT zu 02 E 11799A.
- AP7: Das in Code_Bright implementierte Double-Structure-Modell für Bentonit wurde an Hand eines im Sandwich-Vorprojekt durchgeführten Laborexperiments des IfG kalibriert. Dieses Stoffmodell wird zukünftig zur Simulation des In-situ-Experiments eingesetzt.
- AP8: Das Sandwich-HP wurde beim Technical Meeting im Januar in Porrentruy vorgestellt. Bei der auf 2021 verschobenen 8. International Clay Conference in Nancy wird ein Poster präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Aktualisierung des Testplans mit den vorliegenden Informationen (07/2020)
- AP3, AP4: Schachtabteufung (08 - 10/2020) und Verschlussinstallation (10 - 12/2020)
- AP5: Betrieb (ab 12/2020)
- AP7: Fortsetzung der hydraulisch-mechanischen Simulationsrechnungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Klaus Wieczorek, Katja Emmerich, Jan Aurich, José Luis García-Siñeriz, Uwe Glaubach, Jürgen Hesser, David Jaeggi, Christopher Rölke (2020): Large-scale vertical Sandwich sealing system (SW-A/Sandwich-HP), Vortrag beim Mont Terri Technical Meeting TM-38, Porrentruy, 29.-30. Januar 2020

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 30.06.2022	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 722.640,00 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: Mit der Entwicklung der 3D-Version des Kalibrierungswerkzeuges wurde beim G-CSC in enger Zusammenarbeit mit der GRS begonnen. Die Entwicklung orientiert sich zunächst am Anwendungsfall Čihadlo aus dem Projekt GRUSS (kein Dichteinfluss).
- AP2: Der Formalismus für die Simulation der einphasigen Grundwasserströmung in einfrigerenden/auftauenden Böden wurde in Berichtsform überführt. In vergleichbare Form wurden auch die Beschreibungen der geplanten Testmodelle gebracht.
- AP4.1: Der auf dem Topical Workshop im letzten November vereinbarte Austausch zu relevanten Deformations-/Störungszonen kam erst im Berichtszeitraum zustande. Danach ist die im Projekt GRUSS für das Regionalmodell getroffene Auswahl unglücklich. Das 3D-Modell wird den neuen Erkenntnissen angepasst. In Zusammenarbeit mit den Code-Entwicklern wurden weitere 2D-Modelle mit verbesserter Berechnung der freien Oberfläche erstellt.
- AP4.2: Teilnahme am GRS-SÚRAO-Meeting am 2.-4. März 2020 in Prag; erneute Datenanfrage (Verzögerung durch Auswahlprozess auf tschechischer Seite).
- AP5: Der Unterauftrag wurde vergeben.
- AP6: Das erste Projekt-Statusgespräch fand am 22. und 23.1. in Frankfurt statt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.1: Die Arbeiten werden fortgeführt.
- AP1.2: Die Recherche zu den Vorflutermodellen wird abgeschlossen und die Entscheidung „existierender Code oder Eigenentwicklung“ getroffen.
- AP4.1: Erweiterung des dreidimensionalen SDM-Modells um die aktuelle Auswahl der Störungszonen, Umsetzung einer freien Oberfläche im regionalen 3D-Modell.
- AP4.2: Abschluss der Datenakquise und Modellaufbau.
- AP4.3: Die Arbeiten können erst nach Implementierung der modifizierten Gleichungen (AP2) beginnen.

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 ³ f ⁺⁺ : 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 d³f⁺⁺ 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

Für Grundwasserbewegungen im Permafrost wurde mit der Modellentwicklung begonnen. Darin wird das Fluid über eine verallgemeinerte Richards-Gleichung beschrieben. Das Modell

wurde zunächst ohne Temperatur getestet. In ersten Tests erweist sich ein LIMEX-Löser 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.

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

Eine wesentliche Zielsetzung des AP3.1 besteht darin, das 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. Zur Sicherstellung der Anwendbarkeit dieses Verfahrens konzentrierte sich der Arbeitsschwerpunkt im Berichtszeitraum vornehmlich auf die Bereitstellung geeigneter Grobgitter der im Vorhaben HYMNE zu Grunde liegenden Gebietsrepräsentationen. Dabei wurde insbesondere ein kritischer Fehler in der Meshing Software ProMesh behoben, der bei der Erzeugung von 3D-Schichtgeometrien aus Raster-GIS-Daten mit gemischten Volumentypen (Prismen, Pyramiden und Tetraedern) jeweils zum Verlust der letzten bzw. obersten Schicht und zur sporadischen Fehltranslation einzelner Knoten in negativer z-Richtung führte. Zur allgemeinen Optimierung des Workflows zur Gittergenerierung wurde ProMesh zudem stetig weiterentwickelt, speziell durch den Ausbau der Basis gebenden UG4 Gitterbibliothek `lib_grid` und des UG4 Plugins `plugin_ProMesh`, z. B. Erweiterung der Helferwerkzeuge um eine typbasierte Volumenselektion und Einschränkung der allgemeinen Selektion sowie richtungsbasierten Kantenselektion auf einzelne Subsets. Des Weiteren wurde mit Hilfe einer Restrukturierung der Mesh-Skripte zur automatisierten Erzeugung von Schichtgeometrien eine Qualitätssteigerung der resultierenden Grobgitterelemente erreicht. Die auf diese Weise optimierten Schichtgeometrien wurden am Beispiel des WIPP Problems getestet und in parallelen Rechnungen erfolgreich angewendet, um Produktionsläufe mit über 10 000 Jahren Simulationszeit zu realisieren. Für eine verbesserte Koordination in der gemeinsamen Entwicklung der Mesh-Skripte mit dem Kooperationspartner GRS wurde außerdem deren Versionierung initiiert, die in ProMesh durch die Implementierung einer Schnittstelle komplementiert wird, um versionierte Mesh-Skript-Ordner zur Überwachung anmelden zu können.

AP3.2: Softwareintegration und Neustrukturierung

Im Rahmen der Verbesserung der Nutzbarkeit wurde die Darstellung der mit dem Grundwasserspiegel verbundenen Simulationsergebnisse überarbeitet. Insbesondere wurde die Ausgabe der Tiefen der freien Oberfläche sowie auch der Unterschiede dieser Tiefen von Referenzdaten in vorgegebenen Punkten in eine Datei im CSV-ähnlichen Format implementiert. Diese Ausgabe ist für die Verifizierung des Codes für große Regionalmodelle mit sehr vielen Referenzmessungen wichtig. Zudem wurde die Organisation des Git-Repositories für die Applikationen überarbeitet. Das Applikations-Repository hat nunmehr eine Größe von unter einem Gigabyte, während es vor der Neustrukturierung mehr als dreimal so groß war. Dies wurde durch die Auslagerung von Modellen, die normalerweise für die Arbeit mit d^3f_{++} nicht benötigt werden, erreicht. Im Resultat verkürzt sich die Zeit für das Klonen des Applikations-Repositories mit git von über 5 Minuten auf rund 15 Sekunden.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Kristallgestein 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 Kristallgestein 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 Kristallgestein 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: Die Arbeiten wurden noch nicht begonnen, da die im Vorhaben SUSE bearbeiteten Sorptionsexperimente an kristallinem Probenmaterial noch nicht abgeschlossen wurden. Die Kristallin-Kernproben aus dem südkoreanischen Untertagelabor KURT wurden an GRS geliefert.
- AP2: Vier Kristallin-Kleinkerne mit einem Durchmesser und einer Höhe von 1 cm wurden aus einem Dolerit-Kern vom Standort Yeniseysky von IGEM RAN gebohrt und an GRS am 6. Februar übergeben. Die restlichen 15 Kristallin-Kleinkerne aus dem Dolerit-Kern und einem Gneis-Kern sollten bis Ende März an GRS übergeben werden. Jedoch konnte eine persönliche Übergabe wegen des Pandemieausbruchs nicht realisiert werden. Die Arbeiten in diesem AP sollen nach Abschluss des ersten Untersuchungs- laufs im AP3 wiederaufgenommen werden.
- AP3: Die in den Versuchen einzusetzenden vier Bentonite wurden von IGEM RAN an GRS am 5. Februar übergeben. Die notwendige Ausstattung (Druckreaktoren, Druckauf- nehmer, Datenerfassung) wurde beschafft. Die Bereinigung der Bentonite für einen Teil der Versuche wurde begonnen und für einen Bentonit bereits abgeschlossen. Da die Probenlieferung für die Arbeiten im AP2 teilweise noch aussteht, wurde beschlos- sen, die freiwerdenden apparativen Kapazitäten für die Arbeiten im AP3 einzusetzen und im ersten Untersuchungs- laufe 35 Versuche mit Bentoniten durchzuführen. In 10 Versuchen davon wird der Einfluss des Bentonit-Typs auf die Korrosion des für das deutsche Endlagerprogramm relevanten Gusseisens GGG-40 und des für das russische Endlagerprogramm relevanten Stahls St-37 (ein auf dem deutschen Markt verfügbares Analogon) untersucht. Die dafür notwendigen Metallplättchen wurden ausgeschnitten und poliert. Allerdings verzögerten sich die Arbeiten wegen des Pandemie-bedingten Einschränkungen im Laborbereich, so dass die restlichen Vorbereitungsarbeiten und Zusammenbau der Versuchsstände noch nicht abgeschlossen wurden.
Die Arbeiten zur XRD-Untersuchung der Mineralumwandlungen mussten wegen des Fehlens des für den Einsatz der Anton-Parr-Klimakammer notwendigen Treibers ab- gebrochen werden. Da der Treiber der Hardwarebeschaffenheit der Klimakammersteu- erung entsprechen muss und vom XRD-Gerätehersteller nicht mehr zur Verfügung ge- stellt wird, muss auf den Einsatz der Anton-Parr-Klimakammer bis auf Weiteres ver- zichtet werden.
- AP4: Durchführung eines Projekttreffens mit IGEM RAN in Braunschweig am 5.-6. Februar; Kommunikation mit Projektpartnern und Beschaffung von Probenmaterial.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Vorbereitung der Sorptionsexperimente
 AP2: Beginn der Versuche mit Kristallin-Proben vom Standort Yeniseysky
 AP3: Beginn der Versuche mit vier für russisches Endlagerprogramm relevanten Bentoniten
 AP4: Durchführung der Abstimmungen mit Partnern des IGEM RAN zur Diskussion der geplanten und laufenden Laborexperimente inkl. Bereitstellung von Probenmaterial; Beschaffung von Kern-Proben aus China und Bentonite aus Südkorea und Tschechien

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 30.06.2021	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020
Gesamtkosten des Vorhabens: 546.040,00 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. Die Fortführung der Arbeiten zur Tonforschung in Mont Terri in den kommenden Phasen dient

- (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 Vorhabenskizze
- 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

- AP1: Für die Modellierungsarbeiten wird von der GRS der FEM-Code CODE_BRIGHT eingesetzt. Das Vorgehen bei der Simulation des FE-Experiments erfolgt mit steigender Komplexität simultan zu dem im internationalen Projekt DECOVALEX 2023 vorgesehenen Vorgehen. Im ersten Schritt wird ein 2-dimensionales Model als Schnitt durch einen Erhitzer betrachtet und die thermisch-hydraulisch-mechanischen gekoppelten Prozessen, induziert durch die Wärmeentwicklung des Erhitzers, untersucht. Der Schwerpunkt liegt vor allem auf der Entwicklung der Porendrücke infolge der Temperaturerhöhung, aber auch die anisotropen Eigenschaften des Opalinuston werden berücksichtigt.
- AP2: Die Messungen wurden fortgeführt, die Messwerte zeigen die Tendenz der Vorjahre. Im März ist durch Bohrungsarbeiten in der Niche eine kurzfristige Trennung der Erhitzer von der Stromzufuhr notwendig gewesen. In den Messwerten zeigt sich dazu eine reversible Temperaturreduktion.
- AP3: Die Messungen wurden fortgeführt, die Messwerte zeigen eine deutliche Reaktion auf die Streckenerweiterung durch Zunahme der Porendrücke und Temperaturwerte.
- AP7: VIRTUS wurde um die Funktion zur Translation beim Einlesen von Laserscandaten von IFF erweitert und von der GRS beim Einlesen der Laserscandaten in CD-A angewendet.
- AP8: Für die Modellierung des Mine-By Experiments wurde ein 3-dimensionales Model verwendet und die streckenweise Auffahrung wurde zeitgerecht simuliert. Im ersten Schritt wurde das in CODE_BRIGHT neu verfügbare „smoothed excavation“ Tool verwendet. Die Ergebnisse zeigen eine Porendruckerhöhung hinter der Ortsbrust infolge der Auffahrung. Ein erster Vergleich mit den Messwerten zeigte, dass das „smoothed excavation“ Tool die Porendruckerhöhung durch die lineare Reduktion der Spannung des Gebirges nicht realitätsnah abbildet. Somit laufen gerade weitere Modellierungsarbeiten mit einem instantanen Ausbruch des Bereiches, in dem die Messsensoren angesiedelt waren, um eine realistischere Simulation der Porendrücke zu erzielen.
- AP9: Die Messungen wurden fortgeführt, die Messwerte zeigen folgende Tendenz: CDA-B12 + B13 zeigen nach einer ca. 4-monatigen annähernd konstanten Phase eine negative Tendenz, CDA-B14 zeigt von Anfang an Atmosphärendruck, CDA-B15 zeigt von Anfang an eine steigende Tendenz, CDA-B17/18/19 liegen auf unterschiedlichen Porendruckniveaus, zeigen aber das gleiche zeitabhängige Verhalten, CDA-B22 zeigt nach Druckabfall im Feb.20 einen stufenweisen Anstieg.
- AP10: Teilnahme am Technical Meeting im Januar 2020 (Präsenz), Teilnahme an den virtuell durchgeführten Steering Meetings im April und Mai 2020.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

Beiträge zu DM-A und VIRTUS beim Mont Terri Technical Meeting im Januar 2020

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 31.12.2022	Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
Gesamtkosten des Vorhabens: 412.889,06 EUR	Projektleiter: 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

- AP1: In diesem Berichtszeitraum wurde eine umfassende Literaturrecherche zum Thema geotechnische Barrieren für Endlager durchgeführt. Dazu wurden die Sichtung der Verfahrensunterlagen zur Stilllegung des Endlagers Morsleben abgeschlossen ebenso wie Berichte zum Bauprozess von Strömungsbarrieren im Bergwerk ASSE. Darüber hinaus wurden die seit 1999 vom BMWi/PTKA geförderten Projekte zum Thema geotechnische Barriere ausgewertet. Es handelt sich um die Projekte „Ein neuer Ansatz zu Bewertung der Wirksamkeit von Barrieren im Endlager“, ISIBEL, VSG sowie ELSA I und II. Der amerikanische Partner SANDIA hat in monatlichen Projektgesprächen den Stand von Wissenschaft und Technik zu geotechnischen Barrieren in den USA vorgestellt. Insbesondere wurde ein Überblick über alle dazu relevanten Forschungsarbeiten, die seit den 70er-Jahren von SANDIA durchgeführt wurden, gegeben. Es wurde festgelegt, dass es aufgrund des Umfangs der Dokumentation zum Stand WuT zwei Teilberichte geben soll: ein erster Teilbericht, der sich auf die bestehenden Erfahrungen in Endlager- und Forschungsprojekten konzentriert. Die Berichtserstellung dazu hat begonnen. Im zweiten Teilbericht soll der Fokus auf den Baustoffen liegen. Dort sollen Erkenntnisse auslaufender Projekte in einem Kurzbericht über die Projektlaufzeit eingepflegt werden.
- AP2: Die Grundlagen für die Arbeiten in AP3 und 4 wurden zusammengestellt. Dazu wurde die geologische Situation flach-lagernder Salzstrukturen in Deutschland basierend auf den Ergebnissen des Vorhabens KOSINA zusammengefasst. Für die weiteren Arbeiten wurde das Modell vom Typ Salzkissen ausgewählt. Als technisches Einlagerungskonzept wurde die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern aufgrund der bereits weit entwickelten Einlagerungstechnik gewählt. Da dieses Einlagerungskonzept in KOSINA nicht für Salzkissen untersucht worden ist, musste dafür eine neue technische Planung erfolgen. Die dafür notwendige thermomechanische Auslegung und Optimierung der Einlagerungskonfiguration wurden in diesem Berichtszeitraum durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten war die Zusammenstellung von relevanten FEPs für geotechnische Barrieren. Die Systeme Schacht- und Streckenverschluss wurden im Vorfeld in Komponenten aufgeteilt. Für jedes der betrachteten Systeme wurden jeweils alle relevanten FEPs identifiziert und den Komponenten zugeordnet. Der gewählte methodische Ansatz stellt sicher, dass die zusammengestellten FEPs sowohl für Deutschland als auch für die USA Geltung finden.
- AP3: Vorbereitende Arbeiten wurden im Zuge einer Masterarbeit bei BGE TEC zusammen mit der TU Braunschweig durchgeführt. Es wurden Ansätze für die Erstellung eines Leitfadens für Streckenverschlüsse eines HAW-Endlagers im Salz erarbeitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Der erste Teilbericht zum Stand der Wissenschaft und Technik wird im zweiten Halbjahr fertiggestellt.
- AP2: Die angefangene technische Planung eines Endlagers in der generischen Formation vom Typ Salzkissen wird fortgesetzt. SANDIA wird auf Grundlage der geologischen Situation in den USA ein generisches geologisches Modell entwickeln. Für die FEPs ist eine Abstimmungsrunde mit SANDIA geplant. Die regulativen Anforderungen – als letzter Arbeitsschritt in diesem AP – sind noch zusammenzustellen.
- AP3: Die Entwicklung des Leitfadens wird basierend auf den vorbereitenden Arbeiten und Erkenntnissen der Masterarbeit beginnen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 (SC) 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 Vorhabenpartnern 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

Zur Fortführung der Projektarbeit unter Covid-19-Bedingungen wurden Lösungen entwickelt. Diese umfassten die Organisation der Arbeiten in den Teams unter den veränderten Bedingungen sowie modifizierte Meilensteinplanungen für das TAP SAFE unter Annahme verschiedener Szenarien hinsichtlich des Fortgangs der Krise. Letztere dienen als Vorlage auch für die szenarienabhängige Planung im Gesamtvorhaben.

IELF: Zum 01.03.2020 wurden eine Koordinatorin für die TRANSENS-Öffentlichkeitsarbeit (70 %-Stelle) und ein Assistent für die Projektkoordination (50 %-Stelle) eingestellt. Die Einarbeitung der neuen Mitarbeiter und die Wahrnehmung ihrer Aufgaben erfolgte unter den schwierigen Covid-19-Gegebenheiten.

Koordination des Verbundvorhabens: Das IELF hat das Kick-Off-Meeting (15.-17.01.2020 in Goslar) sowie zwei Treffen der Teamleiter (17.1. Goslar, 23.6. als Videokonferenz) geplant, organisiert, betreut und ausgewertet.

Kommunikation: Die TRANSENS-Webseite wurde in wesentlichen Teilen weiterentwickelt. Erste Strategien für das Kommunikationskonzept wurden entwickelt. Der interne sowie der externe Newsletter wurden eingerichtet und erste Rundschreiben verschickt, u. a. erfolgte die Information der TRANSENS-MA über wichtige entsorgungspolitische Themen.

Koordination TAP SAFE: Aufgrund der Covid-19-Krise wurde für die Fokusgruppe im TAP SAFE ein Testlauf in Form einer Videokonferenz durchgeführt. Dieser wurde durch das IELF koordiniert, vorbereitet (Konzeption, Planung, Impulsvortrag) und ausgewertet. Mitarbeiter des IELF beteiligten sich in verschiedenen Funktionen (Impulsgeber, Teilnehmer, Beobachter). Im Berichtszeitraum wurden zwei TAP SAFE-Bearbeitertreffen durch das IELF vorbereitet, organisiert und ausgewertet.

TAP SAFE:

IELF: Für das TAP SAFE wurde eine Literaturrecherche zum SC durchgeführt und in Teilen abgeschlossen. Mitarbeiter nahmen an einem Transdisziplinaritätskurs (ETH Zürich) teil. Zur Fokusgruppe s. o.

LfDG: Zum 01.04.2020 wurde ein weiterer Bearbeiter für das TAP SAFE (25 %) und das TAP TRUST (25 %) eingestellt. Die Einarbeitung in die Simulationssoftware FLAC3D 7.0 hat begonnen. Ein Lokalmmodell zur Berechnung in FLAC^{3D} 7.0 wurde erstellt. Anhand dieses Lokalmmodells wurden mech. Berechnungen durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Anpassung des Stoffmodells Lux/Wolters/Lerche an die neue Berechnungssoftware FLAC3D 7.0 vorgenommen. Die Einarbeitung in die Literatur über soziotech. Monitoring wurde fortgeführt. An einer Arbeitsgrundlage zur Information der AGBe wird gearbeitet. Eine Bachelorarbeit bzgl. soziotech. fokussierten Monitoringkonzepten wird betreut.

risicare: Um die Zusammenarbeit mit anderen Teams bei TRANSENS zu vereinfachen, ist die interdisziplinäre Literaturstudie zu Ungewissheiten als Sammlung von Arbeitspapieren angelegt. In jedem Arbeitspapier wird ein spezifischer Aspekt im SC behandelt. Die Arbeitspapiere beruhen auf einer breit angelegten Literaturrech., die Empfehlungen internat. Organisationen, nationale Regelwerke, Forschungsprojekte zum SC, Beispiele von SC und Fachliteratur aus verschiedenen Bereichen einbezieht. Es liegen 14 Arbeitspapiere in ausgearb. Form vor, 11 weitere Arbeitspapiere befinden sich in Bearbeitung. Risicare hat sich zudem an den Arbeiten des Sprecherteams, am Aufbau der Kommunikation von TRANSENS und an der Vorbereitg. und Durchfg. des TAP SAFE-Treffens im Mai 2020 beteiligt.

4. Geplante Weiterarbeiten

IELF: Zum 16.07.2020 wird ein wissenschaftl. Mitarbeiter für TAP SAFE eingestellt (50 %). Dieser wird für die im Projekt relevante Softwareentwicklung zuständig sein. Das nächste Online-Treffen im TAP SAFE ist zum 10.7.2020 geplant. Die Literaturrecherche wird vervollständigt, Kooperationen mit anderen Teams werden vorangetrieben. Im Herbst 2020 ist eine auf den Ergebnissen des Testlaufs (s. o.) aufbauende Fokusgruppe mit Praxisakteuren geplant. Es soll ein Flyer über die Projektarbeit im TAP SAFE angefertigt und kommuniziert werden. Der Aufbau der Webseite wird fortgesetzt. Das Kommunikationskonzept wird fertiggestellt. Zudem erfolgt die Koordination der TAP-übergreifenden Kooperationen in Hinblick auf einzelne Forschungsfragen.

LfDG: Zum 01.08.2020 wird ein weiterer Bearbeiter mit einer halben Stelle für das TAP SAFE (25 %) und das TAP TRUST (25 %) eingestellt. Nach der Prüfung der Funktionalität des Stoffmodells Lux/Wolters/Lerche auf der Simulationssoftware FLAC3D 7.0 soll anschließend die Weiterentwicklung des FTK-Simulators auf die Softwareversionen FLAC3D 7.0 und TOUGH2 erfolgen. Anschließend werden multiphysikalische Simulationen an einem Lokalmmodell im Steinsalz durchgeführt. Die Arbeitsgrundlage für die AGBe soll ausgebaut werden.

risicare: Die Literaturstudie zu Ungewissheiten wird abgeschlossen. Der Bedarf an weiterführenden Untersuchungen zum Thema «Ungewissheiten» wird abgeklärt. Erste weiterführende Arbeiten auf der Grundlage der Literaturstudie werden bis Ende 2020 aufgenommen. An der Vorbereitung und Durchführung der TD-Experimente mit Fokusgruppen und der AGBe wird sich risicare beteiligen und dabei Erkenntnisse zu Ungewissheiten einbringen.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Endlager-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

- Entwicklung Kommunikationsstrukturen innerhalb DIPRO
- Aufarbeitung des Forschungsstandes inter- und transdisziplinärer Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle
- Projekttreffen und DIPRO-Treffen in Frankfurt und Darmstadt
- Projekttreffen in Goslar
- Workshop A zu transdisziplinären Schlüsselbegriffen und übergreifenden Themen (digital am 6.5.2020)
- TD Schulung 10-Stepsdigital durch Dr. Pius Kiütli und Dr. Ingo Hölzle
- Anschlussveranstaltung am 09.07.2020
- Stellenbesetzung: Dr. Rosa Siena (ab 01.06.2020), Paula Bräuer (ab 01.06.2020), Margarita Berg (ab 16.06.2020), Dr. Ole Kliemann (Verfahren laufend)
- Weiterentwicklung des TD-Konzeptes; Bildung einer Arbeitsgruppe
- Profilentwicklung Laien-Begleitgruppe
- Thematische Arbeiten zu Kompensation
- Aufarbeitung des Forschungsstandes zu einschlägigen Themen (Transdisziplinarität, Informationsdesign, Nanative)
- Konzeptentwicklung 1. Arbeitsbericht; Vergabe von Schreibaufträgen

4. Geplante Weiterarbeiten

- Workshop im Rahmen des REFORM-Group-Meetings in Raitenhaslach (26./27. 08. 2020)
- Workshop B zum Wicked Problem im Naturkundemuseum Berlin, November 2020
- Auswahl der Laien-Begleitgruppe
- Einrichtung Multimedia-Werkstatt

5. Berichte, Veröffentlichungen

Konrad Ott (2020): Zur Einlagerung hochradioaktiver Reststoffe aus ethischer und politischer Sicht: Bestandsaufnahme und Ausblick. In: Horatschek, A. M. (Hrsg.): *Competing Knowledge - Wissen im Widerstreit*. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Hamburg 9). De Gruyter. S. 171-188 (open access)

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

- Entwicklung und Fertigstellung eines „Fünfjahresplans“ für die TRANSENS-Forschungsaktivitäten am FFU
- Gestaltung der eigenen FUB/FFU-TRANSENS-Homepage
- Erarbeitung des Exposés für die erste Promotionsstelle: „Konkurrenz techno-politischer Programme im Rahmen der Kernenergienutzung“

DIPRO:

- Durchführung des Workshop A) Interdisziplinäre, interne Verständigung mit externer Fachexpertise (am 6. Mai in Form einer Videokonferenz)
- Ausarbeitung eines Thesenpapiers zum Thema Kompensation mit der TU Berlin für den DIPRO-Workshop am 6. Mai (Videokonferenz) sowie weiterführende Diskussion des Papiers mit der Empfehlung eines Workshops und einer peer-reviewed Veröffentlichung
- Mit-Konzeption eines Arbeitsberichtes, der den Workshop A und andere Themen populärwissenschaftlich (transdisziplinär verständlich) darstellen soll
- Fertigstellung des DIPRO-Flyers (im Austausch mit den Partnereinrichtungen)
- Ausschreibung der PhD-Stelle in TRANSENS (u. a. im Stellenanzeiger der FU Berlin)
- Erstellung eines Konzeptpapiers zu Prozess und Kriterien der Mitgliederauswahl der der Laien-Begleitgruppe
- Zweifache Durchführung eines TD-Workshops zur Zuspitzung der Forschungsfragen und insbesondere der Vorbereitung von Workshop B mit dem Museum für Naturkunde

BegleitTeam.TD:

- Sichtung aktueller Literatur zur Transdisziplinaritätsforschung und Erstellung einer Skizze für eine Veröffentlichung zu „TD und Endlager-Governance“
- Telefonkonferenzen zur Abstimmung mit Partnern
- Fertigstellung des Flyers BegleitTeam.TD
- Mitarbeit an der Konzeptskizze Transdisziplinarität mit dem Ziel der Systematisierung der Forschungsarbeit bis 2024

4. Geplante Weiterarbeiten

- Veröffentlichung Mez/Häfner: Nukleare Technopolitik in Deutschland – zwischen politisch-technischer Utopie und sozialer Dystopie
- Abstimmung zur inhaltlichen Ausgestaltung des Workshops in Raitenhaslach mit den DIPRO-Partnern (Federführung FFU)
- Erstellung eines transdisziplinär verständlichen Arbeitsberichtes zu Workshop A sowie zu den Begriffen: Gerechtigkeit, Akzeptanz, Akzeptabilität, Resilienz, Regulierung und Governance
- Vorbereitung und Durchführung des Workshop B zum wicked problem der Endlagerung – aus gesellschaftlicher Perspektive in Kooperation mit der TU Berlin (und anderen) sowie mit dem Museum für Naturkunde Berlin, November 2020
- Skizzen zu vier geplanten peer-reviewed Veröffentlichungen: Transdisziplinarität, Diskurs, Gender und Kompensation

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

Neben einer Literaturrecherche und Sammlung von Informationen zur Zwischen- und Tiefenlagerung hochradioaktiver Abfälle wurden Informationen zu Lagerbehältern und deren Inhalt (abgebrannter Kernbrennstoff; Glaskokillen) zusammengestellt, Vorarbeiten für eine grafische Darstellung von Verzahnungen und Interdependenzen der Entsorgungspfade durchgeführt sowie Entwürfe zur Simulationen repräsentativer Strahlenfelder in Lagern für hochradioaktive Abfälle erstellt. F. Becker und/oder V. Metz beteiligten sich aktiv an einer Reihe von Präsenzveranstaltungen und virtuellen Treffen zum TRANSENS-Projekt, dem Arbeitspaket TAP-HAFF und Fortbildungsveranstaltungen zur Transdisziplinarität. Dazu gehören das Auftakttreffen von TRANSENS vom 15. bis 17. Januar 2020 in Goslar; das Webinar von NEA/SHARE/EURADOS zu "*Lessons we are learning from the COVID-19 pandemic for radiological risk communication*" am 26. März 2020; von April bis Mai die mehrtägige Online-Veranstaltung der Uni Basel - FutureLearn.com - Partnering for Change: Link Research to Societal Challenges: "*How can we address societal challenges with research? Investigate the principles, processes, and uses of transdisciplinarity*"; der virtuelle TRANSENS-HAFF-Workshop am 17. April 2020; eine virtuelle Veranstaltung der BGE zur "*Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Asse II*" am 20. April 2020; den TRANSENS-HAFF "*TD workshop 10-steps exercise*" am 11. Mai 2020 als Zoom-Meeting der ETH Zürich; das IAEA Webinar "*Continuity in COVID-19 pandemic: How to run effective technical services for individual monitoring during a pandemic*" am 27. Mai 2020; die virtuelle Tagung "*4th Safety of Extended Dry Storage of Used Nuclear Fuel, SEDS2020*" am 3. und 4. Juni 2020; die Gründung einer TRANSENS-Arbeitsgruppe zur „grafischen Darstellung von Entsorgungspfaden“ mit virtuellem Treffen am 10. und am 22. Juni 2020; am 24. Juni 2020 ein Online-Workshop zur Konsolidierung der TRANSENS-HAFF Ergebnisse.

Zwei Thesenpapiere zu Themen des Moduls „Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung“ wurden als Grundlage für die gemeinsame transdisziplinäre Zusammenarbeit erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Halbjahr sollen die beiden Thesenpapiere fertiggestellt werden und im Nachgang ein Konzept für eine interdisziplinäre Promotion in Zusammenarbeit mit Prof. H. Geckeis (KIT-INE) und Prof. A. Grunwald (KIT-ITAS) erstellt werden. Die Auswahl, Einstellung und Einarbeitung einer/eines geeigneten Kandidatin/Kandidaten für die Promotionsstelle ist gemäß dem Projektantrag für Herbst 2020 geplant. Hier werden die Ergebnisse der Planungen zur Erstellung generischer Endlager- und Langzeitzwischenlagermodelle und Sammlung von Informationen zu Lagerbehältern und deren Inhalt (abgebrannter Kernbrennstoff; Glaskokillen) sowie Erstellung von Entwürfen zu Simulationen repräsentativer Strahlenfelder in Lagern für hochradioaktive Abfälle weitergeführt.

Neben einigen virtuellen Treffen im Arbeitspaket TAP-HAFF sind Beiträge beim Treffen des TRANSENS-Gesamtprojekts Anfang November 2020 werden F. Becker und V. Metz weiterhin an der KIT internen EL-Nano-Lesegruppe zur TRANSENS relevanten Themen teilnehmen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Zum jetzigen frühen Zeitpunkt des Verbundvorhabens wurden zwei Entwürfe von Thesenpapieren zu Themen des Moduls „Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung“ und eine Stichpunktsammlung zur Entwicklung einer grafischen Darstellung der Entsorgungspfade in TRANSENS erstellt.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Koordiniertes Einarbeiten in die Grundlagen der Transdisziplinarität mit allen HAFF-Team-Mitarbeiter*innen sowie mehrstufige Entwicklung der Modul-übergreifenden Fragestellung zu Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland. Dazu fanden mehrere Meetings statt, mit dem Ergebnis, dass auf Grund-

lage der Thesenpapiere aller HAFF-Teams drei Kristallisationskerne für die transdisziplinäre Kooperation identifiziert wurden (Verzahnungen, Haltepunkte und Wissenskonflikte).

Zur Strukturierung der Kooperation im TAB wurde ein Kernteam aus ITAS, INE (beide KIT) und Öko-Institut gebildet.

Zur konzeptionellen Untermauerung wurden erste soziotechnische Einzelthemen ausgearbeitet, die z. B. für das Verständnis der Verzahnungen und die relevante Akteurslandschaft wichtig sind. Weitere Vorträge und erste Papiere sind vorbereitet (Reform-Group Raitenhaslach Aug. 20, Eckhardt und Hocke zur Veränderung der Expertenlandschaft).

TAP DIPRO: Grundlagen-Workshop zu Schlüsselbegriffen/Wissensvermittlung/Kompensationen/Organisation und Unterstützung durch ITAS-Begleitung. Digitaler Workshop mit dem TdLab Zürich und dem Gesamtteam DIPRO auf der Grundlage von Pohl et al. (Ten Steps ...). Abgesagte Tagung als Mitveranstalter in Kooperation mit Thomas Schomerus, Universität Lüneburg („Schritte auf dem Weg zum Endlager“; Planung für Hybrid-Veranstaltung aufgenommen). Mehrere Vorträge: „Das Standortauswahlgesetz als Leitvorstellung und Leitgesetz – Grundkonzeption, Wirkungen und Entwicklungen“, „StandAG im aktuellen Kontext“ (20.1.2020, Ringvorlesung IRS, Hannover) und „Das Standortauswahlgesetz – ein (aktueller) Einblick“, Friedrich-Naumann-Forum Karlsruhe, 18.5.2020)

TAP SAFE: Mitarbeit bei der empirischen Unterfütterung der Analysen im TAP SAFE. Konkret wurde eine Fokusgruppe zu den Prämissen und Dimensionen eines Safety Cases konzipiert, die im Herbst 2020 durchgeführt wird. Zum Kompetenzaufbau wurde eine idealtypische Fokusgruppe vorbereitet und erfolgreich durchgeführt („Rollenspiel“ am 30.4.2020, aufgrund der Pandemie online). ITAS war mit mehreren Personen beteiligt: Moderation, Beobachtung, Teilnahme und Betreuung der Auswertung. Die Fortschreibung der Planung der im Herbst 2020 stattfindenden Safety-Case-Fokusgruppen findet zusammen mit risicare und IELF der TU Clausthal statt. Beim Workshop von TAP SAFE wurde der Vortrag gehalten „Die „Akteurslandschaft“ bei der nuklearen Entsorgung – Schema oder analytischer Begriff?“ (Hocke 20.5.2020).

TAP EDU: Ausdehnung des ITAS-Textseminars zu einschlägiger Forschungsliteratur auf weitere TRANSENS-Partner. Zwei Vorträge im Rahmen der IRS-Ringvorlesung 2019/20 („Ein aktueller Blick aufs Standortauswahlgesetz – Überblick und ausgewählte Schwerpunkte“, „Kritik als Chance oder Malheur? Herausforderungen für Governance in einem stufenweisen Standortauswahlverfahren mit Rückholbarkeit und Reversibilität“)

Gesamtprojekt: Die Fortschreibung der Konzept-Entwicklung Transdisziplinarität im Gesamtvorhaben in Zusammenarbeit mit FFU und ETH konnte vertieft werden (Flyer BegleitTeam.TD sowie Entwurf für das Konzept TD). Das Jahresmeeting des Forschungsverbundes im November 2020 wurde organisatorisch vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Systematisierung und Ausarbeitung der gemeinsamen Fragestellung über Arbeitsgruppen.
- Memos zur Umsetzung der Fragestellung nach Kristallisationskernen.
- Planung der Empirie und der transdisziplinären Formate in den Modulen und Arbeitspaketen.
- Festlegung des TD-Konzepts für DIPRO und HAFF sowie Mitarbeit bei der konzeptionellen Rahmung im Gesamtverbund.
- Ausbau der Weiterbildungsaktivitäten zum Thema TA und Governance sowie im TAP EDU.
- Betreuung interdisziplinärer Promotionen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Smeddinck, Ulrich; Mintzlaff, Volker; Pönitz, Erik (2020): Entsorgungsforschung am Wendepunkt? Transdisziplinarität als Perspektive für die Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle – ein Projekt-Buch. Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag (Braunschweigische Rechtswissenschaftliche Studien)

Smeddinck, Ulrich (2020): Psycho-Regulierung – Schrecknis, Ressource, Praxis, Aufgabe. Die öffentliche Verwaltung (7), 253–263

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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): Es wurde ein Fragebogen zum Thema "Vertrauen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland" entwickelt. Der Fragebogen wurde nach einem erfolgreichen Pretest finalisiert. Außerdem wurden Quoten definiert, anhand derer die Auswahl der Teilnehmer*innen erfolgen konnte, um ein bezüglich Bildung und Altersgruppen repräsentatives Sample zu erhalten. Außerdem wurden gleichviele Männer wie Frauen befragt. Etwa 5024 Personen haben an der Umfrage teilgenommen. Die Ergebnisse wurden statistisch analysiert und im Team diskutiert. Rund 700 Teilnehmende hatten ihr Interesse an einer Mitarbeit in der geplanten Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe) in einer offenen Frage am Schluss zum Ausdruck gebracht. Nach einem gestuften quantitativen wie qualitativen Auswahlprozess, für den u. a. eine Reihe psychologisch fundierter Auswahlkriterien und Mindestanforderungen definiert wurden, konnte die Personenzahl auf rund 180 potentiell geeignete Kandidat*innen begrenzt werden. Parallel wurde ein zweiter Fragebogen konstruiert und an diese Gruppe verschickt. Dieser enthielt gezielte Fragen zur Persönlichkeit (u. a. Teamfähigkeit, Interesse an Technik, ehrenamtliches Engagement etc.) sowie die einhergehende Aufforderung, ein kurzes Motivationsschreiben zu verfassen. Durch die Analyse der Ergebnisse ließ sich die Anzahl ggf. geeigneter Kandidat*innen auf 49 begrenzen. Hiervon wurden 30 Personen zu persönlichen Zoom-Interviews eingeladen, um letztlich 15 (+/- 2) Personen für die Teilnahme in der AGBe auszuwählen. Die Interviews wurden größtenteils im Juni geführt und nahezu abgeschlossen. Mit Modul 2 (TAP TRUST) sowie Modul 6 (TAP SAFE) wurde noch nicht begonnen.

EDU: Der Ausschreibungsprozess wurde erfolgreich beendet, so dass die Besetzung der diesbezüglich eingeplanten Stelle am 15.07.2020 erfolgen wird (umfasst zudem TAP SAFE, Modul 6).

IW: Im TAP HAFF und DIPRO erfolgten Online-Workshops zu den Methoden transdisziplinärer Forschung und zu Fragen der Technikwissenschaften im Kontext transdisziplinärer Forschungsprozesse. Im gesamten TAP wurden dabei jeweils die Inhalte, Ziele und Methoden der transdisziplinären Forschung vermittelt und diskutiert. Es erfolgten in HAFF gemeinsam mit KIT-INE Arbeiten zur Darstellung des gesamten Entsorgungspfades mit seinen Haltepunkten, welcher mit dem Ziel einer grafischen Aufarbeitung aus Sicht der Technikwissenschaft sowie zum anderen der Erarbeitung der TD-Formate verwendet werden soll. Im Kontext des gerechten, lernenden Verfahren und der guten Gelingensbedingungen für die Endlagersuche wurde im TAP DIRPO gemeinsam mit FUB, TUB, KIT ITAS und CAU ein Anforderungsprofil zur Einrichtung der Laienbegleitgruppe erarbeitet, um die Gruppe für den Workshop B als Beobachter zu installieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

IRS: TAP TRUST (Modul 1): Die letzten Interviews werden Anfang Juli geführt. Der Auswahlprozess der AGBe-Mitglieder kann somit ebenfalls im Juli abgeschlossen werden. Anschließend wird die konstituierende Sitzung der AGBe geplant, auf der sich die Teilnehmer*innen im September 2020 kennenlernen und ein Mandat für die gemeinsame Zusammenarbeit erarbeiten sollen. Sollten zu diesem Zeitpunkt pandemiebedingte Beschränkungen mit Blick auf Zusammenkünfte von Personen bestehen, wird dieses erste Treffen entweder in einem geeigneten Tagungsort in Hannover abgehalten oder – fakultativ – via Zoom stattfinden.

TAP TRUST (Modul 2) und EDU: Die diesbezüglich eingeplante Stelle wird am 15. Juli 2020 besetzt (umfasst zudem TAP SAFE, Modul 6). Der für die Durchführung des Moduls benötigte Detektor samt Software wird in Kürze erworben.

IW: Aufbereitung einer Wissensbasis zum Themenbereich technische Barriere zur Vorbereitung transdisziplinärer Wissensvermittlung unter dem Blickpunkt Komplexität/Vollständigkeit vs. Verständlichkeit/Vertrauen. Arbeit an einer graphischen Ausarbeitung zur Darstellung des Entsorgungspfades und möglicher Haltepunkte. Vorbereitung der Bildung der Laienbegleitgruppe in DIPRO.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Rückschritten.

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

Mit dem Kick-off Meeting vom 15.1. bis 17.1.20 in Goslar wurde das Vorhaben offiziell gestartet. Ab März mussten aufgrund der Lock-Down Maßnahmen durch die Covid 19 Pandemie alle physischen Treffen abgesagt werden. Ersatzweise wurden virtuelle Treffen durchgeführt, mit deren Ausgestaltung zunächst Erfahrungen gesammelt werden mussten.

TAP HAFF:

Die Zusammenarbeit der einzelnen Institutionen im TAP wurde strukturiert und organisiert. Die Klärung von Schnittstellen und Kooperationen wurde im Rahmen digitaler Arbeitstreffen erarbeitet und ist weit vorangeschritten. Zum Methodentraining nahm das Team an einem TD Trainingsworkshop teil.

Modul 2: Thesenpapier zum Modul 2 Raumwirkungen und Governance

Modul 3: Thesenpapier zu AP3 Fallstudie zu Oberflächenanlagen in der Schweiz

TAP SAFE:

Im TAP erfolgten Abstimmungsgespräche, ein virtuelles TAP-Treffen, zu dem das ÖI Team einen Input einbrachte und die fachliche Begleitung der vorbereitenden Arbeiten der ersten Arbeitspakete. Der Input behandelte die Herausforderungen der Einbeziehung und Behandlung sozialwissenschaftlicher Aspekte und wird als Beitrag für SAFE 2 und SAFE 3 relevant sein. Des Weiteren wurde TAP-übergreifend der Vorschlag entwickelt, sich über Handlungsmodelle zu verständigen, die in TRANSENS für die einzelnen Arbeitspakete und Module – sowie die dort anfallenden Kommunikationserfordernisse – von Bedeutung sind.

4. Geplante Weiterarbeiten

Vorbehaltlich der Covid-19 Entwicklungen sind im zweiten Halbjahr weitere Workshops sowie ein großes Arbeitstreffen geplant.

In den einzelnen Arbeitspaketen sind folgende Tätigkeiten vorgesehen:

TAP HAFF: An den gemeinsam identifizierten Schnittstellen wird die interdisziplinäre Zusammenarbeit weiter vorangetrieben. In Modul 1 wird eine grafische Darstellung des Entsorgungspfades entwickelt. In Modul 2 wird ein Literaturreview zu Raumwirkungen durchgeführt und das empirische Arbeitskonzept konkretisiert und Vorbereitungen zur Durchführung getroffen. In Modul 3 wird die Fallstudie zu den Oberflächenanlagen in der Schweiz erstellt. Die daraus gewonnenen Kenntnisse werden dann in Modul 1 und 2 eingehen.

TAP SAFE: In SAFE 2 werden die Vorschläge aus dem Impuls über sozialwissenschaftliche Aspekte weiterentwickelt. Für SAFE 3 sowie übergreifend, werden Handlungsmodelle zusammengestellt und eingeordnet (gemeinsam mit Uni Kassel).

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 Kompensationsszenarien 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

- Erreichen des Meilensteins 4: Organisation und Durchführung des Workshop A im Mai 2020. Aufgrund der aktuellen Corona Situation haben wir den Workshop nicht bei uns an der Technischen Universität Berlin, sondern digital durchgeführt
- Inhalte des Workshops waren: Grundsatzdiskussion zum Konzept interdisziplinärer Schlüsselbegriffe und zur Frage der Wissensvermittlung in DIPRO/Schwerpunkt-Thema: Kompensation – was lässt sich aus ENTRIA lernen? Thesen zur weiteren Behandlung des Themas mit Diskussion
- Teilnahme an TD-Workshops anhand des 10-steps Konzeptes bezogen auf DIPRO unter Moderation von Pius Krütli, ETH Zürich, im Anschluss Entscheidung zur Fortführung in einem Folge-Workshop Anfang Juli 2020
- Der Mitarbeiter Fabian Präger hat sich als TD-Verantwortlicher in der TD-Gruppe integriert; Die TD-Gruppe (AG Laien-Begleitgruppe) hat die Vorbereitungen zur Rekrutierung der Laien-Begleitgruppe (Auswahlkriterien, Rekrutierungsmöglichkeiten, Aufgabendefinition der LBG) in Telefonkonferenzen sowie über simultanem Bearbeiten von Texten in der TU Clausthal Cloud durchgeführt
- Diskussion der Struktur eines ersten Arbeitsberichts
- Organisation der Kommunikationsstruktur in DIPRO
- Festlegung diverser Zuständigkeiten
- Bildung von Unterarbeitsgruppen
- Start der Vorbereitung von Workshop B (Meilenstein 7) in Kooperation mit FU Berlin

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung Workshop B in Kooperation mit FU Berlin
- TRANSENS-Arbeitstreffen in Karlsruhe (ITAS) im November 2020
- Erste Veröffentlichung geplant mit Arbeitstitel “Wem gehört der Atommüll?“ zu rechtlichen, ökonomischen und Gerechtigkeits-Fragestellungen
- Verfassen eines Beitrags zum Thema „Kompensationen“ für den Arbeitsbericht
- Vertiefung des Thesenpapiers zu Narrativen und Diskursen mit der FFU
- Start zu Arbeitsteilprogramms zum Themenkomplex „wicked financing“

5. Berichte, Veröffentlichungen

Verfassen eines Thesenpapiers zu Narrativen und Diskursen mit der FFU

Veröffentlichung eines Diskussionspapiers¹, das die methodische Grundlage zur Analyse der Finanzierung bildet

¹ Ben Wealer und Christian von Hirschhausen, 2020. “Nuclear Power as a System Good. Organizational Models for Production Along the Value- Added Chain.” DIW Discussion Paper 1883. Berlin, Germany: DIW Berlin

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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

Auf dem ersten Projekttreffen in Goslar (15.-17.01.2020) wurden die Ziele von TRANSENS und Verknüpfungen zwischen den Arbeitsgruppen ausgearbeitet.

Im TAP HAFF wurden zunächst Thesenpapiere erarbeitet und auf dem TAP-HAFF-Meeting am 17.4.2020 vorgestellt, anschließend diskutiert und weiterentwickelt. Das iBMB hat ein Thesepapier zum Modul 1 „Pfadabhängigkeit als Risiko und Herausforderung“ Arbeitspaket 2 „Technische und verfahrenstechnische Komponenten von Entsorgungspfaden“ erstellt.

Ein am 11.05.2020 unter Beteiligung des iBMB durchgeführtes Transdisziplinaritäts-Training (TD) unter der Leitung von Pius Krütli diente der Weiterentwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der TD-Arbeit anhand der Durchführung einer „10-Steps Übung“. In dieser Übung wurden in interdisziplinär zusammengesetzten Gruppen die zehn Schritte vom Fokussieren auf die Hauptforschungsfrage bis hin zur Reflexion der wichtigsten Erkenntnisse abgearbeitet. Aus den Thesenpapieren wurden Schnittstellen in Form von drei Kristallisationskernen: Verzahnungen, Haltepunkte und Wissenskonflikte identifiziert. Diese wurden in zwei weiteren HAFF-Meetings am 24.06. und am 1.7.2020 genauer definiert und um die Kristallisationskerne wurden drei Arbeitsgruppen gebildet in denen interdisziplinär zu den genannten Themen weitergearbeitet wird. Das iBMB ist in den Arbeitsgruppen zu Haltepunkten und Wissenskonflikten vertreten.

Am IGG wurde die Bearbeitung der Fragestellungen, die sich zur Rückholung und den Konsequenzen auf das begleitende Monitoring ergeben, innerhalb des TAP TRUST fortgeführt. Die Ergebnisse der Literaturrecherche und der eigene Ansatz zum Rückholungsdemonstrator wurden in einem Arbeitspapier zusammengefasst. Innerhalb des TAP TRUST wurde am 15.05.2020 ein TD-Training zur Klärung, Schärfung und Reflexion der Forschungsfragen in Hinblick auf die gesellschaftliche Relevanz durchgeführt.

Auf der Tagung „Messen in der Geotechnik“ (20.-21.02.2020) der TU Braunschweig und der virtuellen Tagung der European Geosciences Union (EGU) (4.5.-8.5.2020) wurde der Stand der Arbeiten zum Rückholungsdemonstrator präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das iBMB und das IGG beteiligen sich auch weiterhin an der Ausgestaltung der TD-Elemente.

Das iBMB entwickelt idealtypische Konzepte für obertägige Anlagen von Tiefenlagern bestehend aus Eingangslager mit Konditionierungsanlage sowie dessen Infrastruktur und der baulichen Transportinfrastruktur unter Tage weiter.

Am IGG wird der Rückholungsdemonstrator weiter ausgearbeitet und Aspekte davon in numerische Modelle überführt.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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: Das Arbeitspapier zur Bewertungsmethode von Entscheidungsqualität wurde weiterbearbeitet.

HAFF AP2: Weiterarbeit am Arbeitsbericht für die Umsetzung einer positiven Sicherheits- und Fehlerkultur innerhalb von TRANSENS (in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut).

HAFF AP3: Erste Absprachen hinsichtlich der Anwendungsszenarien mit dem ITAS.

SAFE AP1: Die Bestandsaufnahme der Methoden zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit hinsichtlich ganzheitlicher, systemischer Effekte auf den Umgang mit Sicherheitsanforderungen wurde fortgeführt.

SAFE AP2: Erste Analysen des Einflusses der menschlichen Zuverlässigkeit in den Einschätzungen und Bewertungen von Ungewissheiten wurden auf der Basis der BMU Sicherheitsanforderungen durchgeführt.

SAFE AP3: Absprache hinsichtlich der Identifikation menschlicher Einflüsse auf die Modellierungsunsicherheit in der geologischen Modellierung als Anwendungsfeld (in Zusammenarbeit mit TU Clausthal).

4. Geplante Weiterarbeiten

HAFF AP1: Neben dem Arbeitspapier zur Bewertung von Entscheidungsqualität soll ein Fragebogenverfahren entwickelt werden, welches die Einschätzung einer Organisation hinsichtlich seiner Entscheidungsqualität erlaubt.

HAFF AP2: Abschluss des Arbeitsberichtes

HAFF AP3: Weiterführung der Absprachen.

SAFE AP1: Aufbau einer Systematik für die Berücksichtigung der menschlichen Zuverlässigkeit beim Umgang mit Sicherheitsanforderungen.

SAFE AP2: Demonstration der Aspekte menschlicher Zuverlässigkeit mithilfe einer Synopse zu den BMU Sicherheitsanforderungen.

SAFE AP3: Weiterführung der Absprachen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Sträter, O., Schmidt, S., Saki, M. & Hölker, J. (2020): Nutzen eines Scanning-Verfahrens zur Unterstützung der Planung digitalisierter Systeme. Beitrag Z.1.14. GfA, Dortmund (Hrsg.), Frühjahrskongress 2020, Berlin

Osterland, J. F. (2020): Kommunikation im Rahmen von Remote Leadership gesund und effektiv gestalten. Betriebliche Prävention. 22(6): 260-263

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	
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 IAEA 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 IAEA durch das Zusatzprotokoll im Hinblick auf die Entdeckung undeckelter 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. Energieforschungsprogramms 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 IAEA und Euratom, Industrie sowie Forschung und Entwicklung geplant und durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP6.1: 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
- AP6.2: 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
- AP6.3: 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: Beginn eines Promotionsprojekts zur multitemporalen Satellitenbildanalyse im Rahmen der Safeguardsüberwachung von kerntechnischen Anlagen; Vorbereitung eines Fallbeispiels zum Monitoring von HAW Endlagerstandorten
- AP6.2.4: keine
- AP6.3.1: Vorbereitung der Projektgruppe „Nukleare Energie, Technologie und Sicherheit im internationalen Zusammenhang - Kerngruppe, Thema der ersten Veranstaltung
- AP6.3.2: Aktualisierung „safeguards.de“
- AP6.3.3: Mitarbeit in der Arbeitsgemeinschaft Kernmaterialüberwachung (AKÜ) (Frühjahrssitzung COVID-19 bedingt ausgefallen) sowie im Arbeitskreis Spaltstoffüberwachung des VGB PowerTech e.V. (Sitzung am 14.05.2020)
- AP6.3.4: Mitarbeit in ESARDA-Gremien (Executive Board 04./05.02.2020) und Arbeitsgruppen, Co-Leitung von drei Arbeitsgruppen, Mitarbeit im INMM Executive Board (03.-05.03.2020), Leitung der ‘International Safeguards Division’ (ab 03/2020)

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, abschließende Prüfung der Richtlinie
- 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: Durchführung eines Feldtests zur Eignung der Myonen-Tomographie zur Re-Verifikation von Brennelementbehältern in den Zwischenlagern
- AP6.2.3: Durchführung eines Promotionsprojekts zur multitemporalen Satellitenbildanalyse im Rahmen der Safeguardsüberwachung von kerntechnischen Anlagen; Vorbereitung eines Fallbeispiels zum 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 (Herbst), Vorbereitung der zweiten Veranstaltung
- AP6.3.2: Aktualisierung „safeguards.de“
- AP6.3.3: Mitarbeit in der Arbeitsgemeinschaft Kernmaterialüberwachung (AKÜ) (Herbstsitzung) sowie im Arbeitskreis Spaltstoffüberwachung des VGB PowerTech e. V. (Sitzung 16.09.2020)
- AP6.3.4: Mitarbeit in ESARDA-Gremien und Arbeitsgruppen (16.-19.11.2020), Co-Leitung von drei Arbeitsgruppen, Mitarbeit im INMM Executive Board (21./22.07.2020), Leitung der ‘International Safeguards Division’ (Sitzung 12.07.2020, Sitzung im November)

5. Berichte, Veröffentlichungen

- R. Avenhaus, T. Krieger: Inspection Games over Time. Fundamental Models and Approaches. In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Schlüsseltechnologien, Band 220, 2020
- I. Niemeyer, M. Dreicer, G. Stein (Hrsg.): Nuclear Non-proliferation and Arms Control Verification. Innovative Systems Concepts. Springer, Cham, 2020

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 2019 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 2019 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 2019 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 | 86 |
| 02 E 11779 | MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz, Qualitätssicherung mit Ultraschall (MgO-S3) | 172 |
| 1501561 | Entwicklung eines bruchmechanischen Berechnungsansatzes zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Brennstabhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung - KEK | 24 |

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 | 44 |
| 02 E 11486B | Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B | 78 |
| 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 | 84 |
| 02 E 11577A | Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A | 100 |
| 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 | 112 |
| 02 E 11658B | Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (ANSICHT II), Teilprojekt B | 128 |
| 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) | 136 |
| 02 E 11708B | Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt B | 144 |
| 02 E 11718A | Verbundprojekt: Ausbau von Grubenbauen für ein HAW-Endlager in Tongestein (AGEnT), Teilprojekt A | 150 |

- 02 E 11728** Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus einem HAW-Endlager in Kristallgestein (KOREKT)  154
- 02 E 11749** Weiterentwicklung der Konzepte der Transport- und Einlagerungstechnik von Endlagerbehältern (TREND)  160
- 02 E 11839** Entwicklung eines Leitfadens zur Auslegung und zum Nachweis von geotechnischen Barrieren für ein HAW Endlager in Salzformationen (RANGERS)  188

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  192

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  152

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  64

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  110
- 02 W 6279** Neu- und Weiterentwicklung von Konzepten, Methoden und Techniken für die internationale Kernmaterialüberwachung, insbesondere im Rahmen der nuklearen Entsorgung (SAFEGUARDS-3)  212

Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung angewandter Forschung e. V., Hansastr. 27 c, 80686 München

- 1501576** ProCast - Probabilistische Sicherheitsbewertung von Behältern aus Gusseisen  26

Freie Universität Berlin, Kaiserwerther Str. 16-18, 14195 Berlin

- 02 E 11547C** Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit soziotechnischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt C  92
- 02 E 11849C** Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt C  194

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  162

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Schwertner- gasse 1, 50667 Köln

- | | | |
|--------------------|--|-----|
| 02 E 11284 | Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN) | 46 |
| 02 E 11466 | Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Re-poTREND+) | 74 |
| 02 E 11486A | Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A | 76 |
| 02 E 11496A | Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A | 80 |
| 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 | 98 |
| 02 E 11577B | Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B | 102 |
| 02 E 11607A | Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A | 104 |
| 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 | 114 |
| 02 E 11627 | Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET) | 116 |
| 02 E 11647 | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern (WiGru 8) | 124 |
| 02 E 11658A | Verbundprojekt: Aktualisierung der Sicherheits- und Nachweismethodik für die HAW-Endlagerung im Tongestein in Deutschland (AN-SICHT II), Teilprojekt A | 126 |
| 02 E 11668A | Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt A | 130 |
| 02 E 11698 | Untersuchung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Einwirkungen auf zementbasierte Dichtelemente (THYMECZ) | 140 |
| 02 E 11708A | Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt A | 142 |
| 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 | 166 |
| 02 E 11799B | Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt B | 178 |

- 02 E 11809A** Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d^{3f++}: Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt A 📖 180
- 02 E 11819** Mineralumwandlung und Sorption bei erhöhten Temperaturen in geklüfteten Kristallingesteinen und Barrierematerial (MUSE) 📖 184
- 02 E 11829** Tonsteinforschung im Felslabor Mont Terri ab Phase 25 (MonTe-25) 📖 186
- RS1552** Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung 📖 34
- RS1553A** Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“) 📖 36
- RS1563** Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern 📖 38

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden
--

- 02 E 11415B** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B 📖 50
- 02 E 11607B** Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B 📖 106
- 02 E 11668B** Verbundprojekt: Smart-K_d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt B 📖 132
- 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 📖 158
- 02 E 11769B** Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt B 📖 170

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 📖 120

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

- 1501606B** Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung - Teilvorhaben: Konzeption und Errichtung eines automatisierten Strahlungsmesssystems zur Durchführung von Experimenten und Zustandsanalyse von TLB 📖 30

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 📖 66
- 02 E 11708C Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Ein-schluss (KOMPASS), Teilprojekt C 📖 146

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 E 11415A Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A 📖 48

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

- 02 E 11809B Verbundprojekt: Weiterentwicklung von d^{3f++}: Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab (HYMNE), Teilprojekt B 📖 182

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 📖 122
- 02 E 11799A Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Hauptprojekt (SANDWICH-HP), Teilprojekt A 📖 176

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 📖 68
- 1501560 Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK) 📖 22
- 02 E 11849F Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt F 📖 200

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

- 02 E 11547A Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit soziotechnischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt A 📖 88
- 02 E 11789 Wegemanagement bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland (WERA) 📖 174
- 02 E 11849G Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt G 📖 202

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg

- 02 E 11415H Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt H 📖 62

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 | 📖 52 |
| 02 E 11547B | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B | 📖 90 |
| 02 E 11496B | Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B | 📖 82 |
| 02 E 11607C | Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C | 📖 108 |
| 02 E 11668C | Verbundprojekt: Smart-K _d in der Langzeitsicherheitsanalyse - Anwendungen (SMILE), Teilprojekt C | 📖 134 |
| 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 | 📖 164 |
| 02 E 11849D | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt D | 📖 196 |
| 02 E 11849E | Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt E | 📖 198 |
| 1501609B | Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während längerfristiger Zwischenlagerung - Experimente zur Bestimmung der Eigenspannungen sowie der Wasserstofflöslichkeit und -diffusion | 📖 32 |

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 | 📖 42 |
| 02 E 11557 | Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II) | 📖 94 |
| 02 E 11769A | Verbundprojekt: MgO-Spritzbeton für Streckenverschlüsse für HAW-Endlager im Steinsalz (MgO-S3), Teilprojekt A | 📖 168 |

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 | 📖 204 |
|--------------------|--|-------|

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 | 📖 70 |
|--------------------|--|------|

- 02 E 11849I Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt I 📖 206

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 📖 72
- 02 E 11567A Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH²M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt A 📖 96
- 02 E 11688 Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Durchführung, Auswertung und Reanalyse von THM-Versuchen (Salzschnittblöcke III) 📖 138
- 02 E 11708D Verbundprojekt: Kompaktion von Salzgrus für den sicheren Einschluss (KOMPASS), Teilprojekt D 📖 148
- 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 📖 156
- 02 E 11849A Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt A 📖 190

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 📖 118

Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden

- 02 E 11415G Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G 📖 60
- 1501606A Verbundvorhaben: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nichtinvasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Strahlungsbasierte Bildgebung 📖 28

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 📖 18

- 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  20

Universität Kassel, Mönchebergstr. 19, 34125 Kassel

- 02 E 11849J** Verbundprojekt: Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland (TRANSENS), Teilprojekt J  208

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

- 02 E 11415E** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E  56

Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken

- 02 E 11415D** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D  54

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

- 02 E 11415F** Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F  58