



































































































































































































































































































































































### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Durchführung des Kick-off-Treffens im vorangehenden Berichtszeitraum sind im aktuellen Berichtszeitraum vom Zuwendungsempfänger TUC sowohl die numerischen Simulationen zu den dort abgestimmten und im Nachgang modifizierten Berechnungsvariationen (a-d) zu Modell 1.1 wie auch die Arbeiten an den MS-Excel-Tabellenkalkulationsvorlagen zur Ergebnisauswertung und -gegenüberstellung fortgeführt worden. Erste Ergebnisse und Simulator spezifische Vorkommnisse zu den Simulationen zu Modell 1.1 konnten von den Projektpartnern auf einem internen Fachtreffen vorgestellt werden. Auch zu Modell 1.4 sind bereits erste Absprachen der Partner im Rahmen einer Telefonkonferenz und erste Berechnungen der TUC erfolgt. Organisatorische und betreuende Aufgaben sind während des gesamten Zeitraumes und insbesondere vor dem Fachtreffen und vor der Telefonkonferenz wahrgenommen worden.

Die Simulationen der TUC zu Modell 1.1 haben zumeist zu präzisen bzw. plausiblen Kurvenverläufen für die Auswertungsgrößen geführt, wie Vergleiche mit analytischen Lösungen und mit ähnlichen Simulationsergebnissen aus einem vorangehenden Vorhaben zeigen (AP1.5). Mitunter auch erhaltene weniger befriedigende Ergebnisse konnten zumindest zum Teil erklärt und behoben werden. Die Resultate sind auf dem internen Fachtreffen im September 2017 vorgestellt und diskutiert worden. Erste Berechnungsergebnisse zwischen Projektpartnern konnten schließlich im Nachgang mithilfe der erstellten Excel-Datei gegenübergestellt werden (AP1.6).

Zum Modell 1.4 über H<sup>2</sup>M-gekoppelte Prozesse sind von der TUC vorab vorbereitete Vorschläge für Berechnungsvariationen von den Projektpartnern auf einer Telefonkonferenz diskutiert und vorfestgelegt worden (AP1.2). Das Datenblatt zu diesem Modell ist entsprechend den Vorfestlegungen angepasst worden. Simulationen der auf diese Weise definierten Variationen (a-b) und (d) sind von der TUC ebenfalls durchgeführt worden; ein Vergleich mit einer semianalytischen stationären Lösung ist dabei sehr positiv ausgefallen.

Organisatorisch-administrative Aufgaben betrafen im Wesentlichen die Mitorganisation des Fachtreffens im September 2017 zusammen mit dem Gastgeber als Hauptorganisator, die Erstellung von Sitzungsprotokollen zu Fachtreffen und Telefonkonferenz inkl. deren Abgleich mit den Kooperationspartnern sowie die Korrespondenz mit den Partnern im Rahmen von aufkommenden Fragestellungen und weiteren Planungen (AP1.1). Am FTK-Simulator sind im aktuellen Berichtszeitraum zunächst noch geringfügige Adaptionen erfolgt (AP1.3).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Auf dem Fachtreffen haben sich die Projektpartner für eine verstärkte Bearbeitung von Modellen der Stufe 1 ausgesprochen, bevor zu Stufe 2 übergegangen wird. Mit Fokus auf diejenigen Berechnungsmodelle der Stufe 1, die von den Partnern als für eine Verifizierung ihrer Simulatoren interessanter eingeordnet worden sind, sind weitere Variationen gemäß bisheriger Präsentationen und Absprachen auszuformulieren, zusammen mit Excel-Vorlagen an die Partner zu verteilen und schließlich selbst zu simulieren (AP1.1, AP1.2, AP1.4 und AP1.5). Neben der für Stufe 2 erforderlichen Weiterentwicklung des FTK-Simulators hinsichtlich der Simulation anisotroper thermischer und hydraulischer Strömungsprozesse ist zu überlegen, ob und wie die über die Variationen 1.1(c-d) identifizierten Mankos bei der FTK-Simulation eines sich aufsättigenden Materials unter Zweiphasenfluss bzw. eines Materials mit kompressiblem Korngerüst (Biot-Koeffizient  $\alpha < 1$ ) behoben werden können (AP1.3).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11567B</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH <sup>2</sup> M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2017 bis 30.04.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 529.075,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Czaikowski	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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



### **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Seit Vorhabenbeginn im Mai 2017 haben neben dem Kick-off Meeting in Clausthal auch schon ein Projektgespräch in Brugg im September sowie eine Telefonkonferenz im November stattgefunden, bei dem die Partner erste Ergebnisse vorgestellt und diskutiert haben. Aus Sicht der GRS führt die zunächst vom Konsortialführer gewählte sehr stark abstrahierte Berücksichtigung gekoppelter Prozesse zu Schwierigkeiten bei der Anwendung von Code\_Bright, so dass hier ein deutlicher Mehraufwand erkennbar ist.

Code\_Bright ist ein vollständig THM-gekoppelter Code auf poromechanischer Basis. Das hat zur Folge, dass bei Ansatz der hydro-mechanischen Kopplung einzelne Parameter wie beispielsweise die Saugspannung, die zur Berechnung des Sättigungsgrades wichtig ist, nicht einfach aus Gründen der Vergleichbarkeit mit einer vorgegebenen analytischen Lösung außer Acht gelassen werden können.

Trotzdem erscheint die einfache abstrahierte Betrachtung gekoppelter Prozesse aus Vergleichsgründen mit anderen eingesetzten Codes gerade durch den Vergleich mit der analytischen Lösung zielführend.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

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

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11577A</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A	
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2017 bis 31.05.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.06.2017 bis 31.12.2017
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 793.425 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Müller

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Unter Annahme realistischer Randbedingungen (v. a. Gasdruck- und Wärmeentwicklung) wird mit Hilfe numerischer Modellierungen der Einfluss geklüfteter Gebirgsbereiche auf die Funktionsweise und Wirksamkeit des bisher konzipierten Verschlusssystems untersucht. Im Berichtszeitraum wurde ein erstes Modell mit TOUGH2 aufgebaut und es wurden orientierende Testrechnungen durchgeführt. Ziel erster Berechnungen ist es, den Druckaufbau in den Dichtelementen auf Basis der abgeschätzten Gasproduktionsraten und einer Wärmeentwicklung zu untersuchen.
- AP3: Die Charakterisierung von Kluftsystemen und die Ermittlung standortbezogener Kluftparameter ist ein Schwerpunkt des Arbeitspaketes, da solche Parameter die Grundlage für ein detaillierteres dreidimensionales strukturgeologisch-hydrogeologisches Modell des Gesteinskomplexes darstellen. Sogenannte diskrete Rissnetzwerke (discrete fracture network, DFN) stellen das Mittel der Wahl dar, wenn es um eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Trennflächengefüges in einem Gesteinskörper geht. Bei diesen Ansätzen werden die geometrischen Eigenschaften der Diskontinuitäten mittels charakteristischer Verteilungsfunktionen beschrieben und mittels statistisch-stochastischer Verfahren automatisiert generiert. Im Rahmen des Projektes SUSE liegen entsprechende standortbezogene Parameter zu Diskontinuitäten bisher nur ansatzweise vor. Daher wurden zunächst die methodischen Grundlagen zur Generierung entsprechender Modelle im Berichtszeitraum gesichtet und erarbeitet. Es wurden erste DFN-Modelle unter Nutzung des in 3DEC implementierten DFN-Generators erstellt.
- AP5: Ziel ist es, eine plausible modelltechnische Abbildung des Strömungsfeldes und der Radionuklidenausbreitung zu erhalten. Zu diesem Zweck sollen Modellierungen im kleinräumigen Bohrlochmaßstab und großräumigen Endlagermaßstab durchgeführt werden. Die Modellierungen im kleinräumigen Maßstab, bei denen die DBETEC beteiligt ist, bestehen aus der Berechnung von hydraulischen Pumpversuchen, die im Gebiet Yeniseysky durchgeführt wurden und den russischen Kollegen vorliegen. Mit den russischen Partnern hat man sich zunächst auf die Durchführung von Benchmark-Modellrechnungen geeinigt. DBETEC strebt an, die Versuche mit Hilfe der Berechnungscodes 3DEC und TOUGH2 durchzuführen. Bei den vereinbarten Benchmark-Berechnungen handelt es sich um Pumpversuche unter instationären Strömungsverhältnissen, die mit Hilfe des Theis-Verfahrens analytisch nachgerechnet werden können. Die ersten Benchmark-Modellierungen konnten mit TOUGH2 bereits erfolgreich nachgerechnet werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die TOUGH2-Modellierungen zur Abschätzung des Druckaufbaus in/an den Dichtelementen werden weitergeführt und ausgewertet. Ein nächster Schritt ist die Implementierung von Klüften in das bestehende Modell, um den Einfluss solcher abschätzen zu können.
- AP3: Im weiteren Projektfortgang soll überprüft werden, welche Anforderungen die DFN-Modelle für eine Nutzung in einem Process-Level-Code erfüllen müssen.
- AP5: Weiterführung der Benchmark-Modellierungen mit TOUGH2 und 3DEC.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11577B</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B	
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2017 bis 31.05.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.06.2017 bis 31.12.2017
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 668.900,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 Störungszonnennetzwerkes präzisiert. Auf dieser Grundlage werden mit den Programmen d<sup>3f++</sup> 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: Gesteineignungsklassifikationen als Positionierungskriterien für Dichtelemente, Bohrlöcher und Auffahrungen im Kristallin
- AP3: Charakterisierung eines Kluft- und Störungszonnennetzwerkes am Beispiel des Standortes Yeniseysky
- AP4: Erhebung zusätzlicher Daten an Probenmaterial aus dem Gebiet Yeniseysky
- AP5: Regionale 3D-Strömungs- und Transportmodelle
- AP6: Bewertung und Dokumentation

Die GRS ist federführend in den AP4 und AP5.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 16.11.2017 fand ein Projektgespräch bei der DBE Technology mit Beteiligung der BGR und der GRS in Peine statt.

- AP1: Es wurden Abschätzungen zu den erwarteten Gasproduktionsraten und der absoluten Menge erzeugter Gase im Endlager durchgeführt. Bei den im Endlagerkonzept vorgesehenen Abfallmengen dominieren die schwachaktiven Abfälle bei weitem die Gasproduktion und liegen in der erzeugten Gasmenge einen Faktor 50 über der durch die hochaktiven

Abfälle erzeugten Gasmenge. Diese Rechnungen können durch die hohe Ungewissheit in den Daten, insbesondere zu der Abfallzusammensetzung, nur als grobe Orientierung angesehen werden.

AP4: Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Projektarbeiten in AP4 auf die Übersicht der einschlägigen Literatur und die Entwicklung der Versuchsmethodik. Daraus ergab sich die methodische Festlegung, dass die Verteilungskoeffizienten des kristallinen Probenmaterials nicht als  $K_d$  pro Probenmasse, sondern als  $K_a$  pro BET-Oberfläche normiert werden. Diese Maßnahme reduziert bzw. eliminiert die Anfälligkeit der Sorptionsexperimente zu Artefakten der Probenvorbereitung und Versuchsdurchführung und ermöglicht eine Übertragbarkeit der Messergebnisse auf ähnliche Kristallingesteine aus anderen Formationen. Für die Übertragbarkeit der  $K_d$ -Werte aus Laboruntersuchungen auf das unverritzte Kristallingestein soll ausschließlich Probenmaterial mit einer Korngröße von  $\geq 1$  mm verwendet werden. Die derzeitige Versuchsplanung sieht folgende Versuche vor: Cs(I), Sr(II), Eu(III) und Se(IV); Konzentration 10–7 M, anoxische Bedingungen, 10 °C und 90 °C (Glovebox), pH-Bereich 3 – 10, dreifache Wiederholung der Sorptionsbatches für Steigungsabschnitte der Sorptionskanten.

Die Bestimmung des Quelldrucks und der Permeabilität des Bentonits aus Chakassien wurde fortgesetzt. Experimente bei einer Dichte von 1,6 wurden abgeschlossen.

AP5: Als erster Schritt wurden mit den russischen Partnern Benchmark-Modellrechnungen festgelegt, die eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Programme ermöglichen sollen, welche im Folgenden zur Berechnung von hydraulischen Pumpversuchen eingesetzt werden. Die dafür notwendige Verwendung des spezifischen Speicherkoeffizienten wird derzeit in  $d^3f++$  implementiert. Arbeiten in AP5 konzentrierten sich auf die Erstellung eines großräumigen Matrixmodells, das von der russischen Seite im Juli 2017 an die deutsche Seite übergeben worden ist. Die Funktionalität von  $d^3f++$  musste zunächst zum Einlesen von Rasterdaten für die Permeabilität und den  $K_d$ -Wert erweitert werden. Erste Testrechnungen zur Grundwasserströmung konnten die erwartete Strömungsrichtung gut reproduzieren.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP4: Die Sorptionsexperimente werden abschließend vorbereitet und begonnen, sobald das Probenmaterial zur Verfügung steht.

AP5: Nach Implementierung des Speicherkoeffizienten in  $d^3f++$  werden die Benchmark-Rechnungen weitergeführt. Hinsichtlich des Matrixmodells werden im nächsten Schritt Transportrechnungen durchgeführt und mit den Ergebnissen der russischen Partner verglichen. Dies wird quantitativ durch einen Vergleich der Transportzeit eines inerten Tracers und eines sorbierenden Stoffes vom östlichen zum westlichen Modellrand unter Variation der Durchlässigkeit des Gneises und der höher durchlässigen Störungszonen erreicht. Neben der Durchlässigkeit wird dabei auch die Rückhaltung der Radionuklide variiert.

In AP1, AP3, und AP6 sind seitens der GRS im Jahr 2018 keine Arbeiten geplant.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11587A</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Vorprojekt (SANDWICH-VP), Teilprojekt A	
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2017 bis 30.06.2019	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2017 bis 31.12.2017
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 989.049,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Emmerich

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Neben dem Wirtsgestein kommt geotechnischen Barrieren wie Schacht- oder Streckenverschlüssen in Endlagern eine besondere Bedeutung zu.

Ein vielversprechendes Konzept ist das von KIT entwickelte Sandwich-System, bei dem das hydraulische Dichtelement aus Wechsellagen aus Bentonit zur Abdichtung und hydraulisch leitenden Potentialausgleichsschichten (Äquipotenzialsegmente – ES) besteht. Experimente im Technikummaßstab zum Nachweis der Funktion sind erfolgreich durchgeführt worden. Der nächste Schritt ist ein großmaßstäbliches Experiment unter Einbeziehung des Wirtsgesteins, bei dem unter Demonstration der Einbautechnik zu prüfen ist, ob die erwarteten Vorzüge des Sandwich-Systems zum Tragen kommen und die Dichtfunktion erreicht wird.

Das Sandwich-Vorprojekt ist ein Verbundprojekt von KIT und GRS mit Beteiligung internationaler Partner BGR, Swisstopo, ENRESA, NAGRA sowie enger Kooperation mit dem ENSI. Das Ziel des Sandwich-Vorprojekts besteht in der Planung eines großmaßstäblichen In-situ-Experiments.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Definition der Erfordernisse an das Verschlussystem
- AP2: Festlegung der Ziele des Experiments
- AP3: Festlegung und Vorbereitung eines Versuchsortes
- AP4: Materialauswahl für Dichtsegmente (DS) und Äquipotenzialsegmente (ES)
- AP5: Auslegungsvarianten von Verschluss und Instrumentierung
- AP6: Auslegungsrechnungen für die Planung von Verschluss und Instrumentierung
- AP7: Festlegung der Bautechniken
- AP8: Festlegung der Instrumentierung
- AP9: Festlegung der Projektorganisation sowie Zeit- und Kostenplanung
- AP10: Berichterstattung
- AP11: Koordination

Die APs werden bis auf nachfolgend genannte APs gemeinsam federführend mit GRS bearbeitet. Das KIT ist federführend bei AP4 und AP11. Die GRS ist federführend für AP3 und AP6.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Zusammenstellung von Ergebnissen von (inter-)nationalen In-situ-Großversuchen zu Schacht- und Streckenverschlüssen und Bewertung bzgl. Relevanz der Ergebnisse für das geplante In-situ-Experiment
- AP2: Die übergeordneten Ziele des geplanten In-situ-Experimentes sind unverändert gültig
- AP4: Mineralogisch/chemische Charakterisierung der Proben des HTV-4; Untersuchung des Einflusses des Salzgehalts auf die Messung der Kationenaustauschkapazität der DS Proben mittel Cu-Trien  
 Test neuer ES Materialien in der Harfenapparatur, langsames Steigverhalten sowie geringere mechanische Stabilität im Vergleich zum Benchmark  
 Start zweier MiniSandwich-Versuche mit Modelporenwasser für Opalinuston (Pearson water), Quelldruckentwicklung widerspiegelt die Unterschiede in der Vorsättigung (Einbauwassergehalt) Alternative Bentonite zum Calcigel ausgewählt und Bestimmung Rohstoffparameter, Bentonit D3 erreicht bei vergleichbarer Einbaudichte und vergleichbarem Einbauwassergehalt aufgrund eines höheren Smectitgehalts einen höheren Quelldruck
- AP5: Zur Festlegung der Dimension der Versuchsnische und Position des Großbohrloches wurde die Option eines zweiten Bohrlochs für einen 2. Versuch in Betracht gezogen  
 Es wurde eine Dimensionsanalyse durchgeführt und eine mögliche Geometrie für einen Schachtverschluss im In-situ-Experiment mit 5 ES und 4 DS sowie einer Gesamthöhe von ca. 9 m inkl. Druckkammer(n) und statischem Widerlager erarbeitet
- AP8: Planung der Instrumentierung mit TDR Kabelsensoren (TAUPE) zum Monitoring der Feuchteausbreitung im In-situ-Experiment begonnen
- AP11: Kick-Off Meeting im Juli 2017 und 1. Projektmeeting im November 2017 zu den geplanten Arbeiten und dem Fortschritt im Projekt

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Fertigstellung der Übersichten zu internationalen Großversuchen
- AP4: Auswertung und Interpretation der mineralogisch/chemischen Daten aus dem HTV-4, Aufbereitung Proben HTV-5 und Start mineralogisch/chemischer Analyse  
 Fortgesetzter Test von alternativen ES Materialien in der Harfenapparatur  
 Kompaktierung alternativer Bentonit, Einbau HTV-6, Versuchsstart mit Pearson Water  
 Ausbau und mineralogisch/chemische Analyse MiniSandwich-Versuche Calcigel/Pearson Water  
 Start neue MiniSandwich-Versuche alternativer Bentonit/Pearson Water
- AP5: Festlegung der Dimension der Versuchsnische und des Bohrlochs in Abstimmung mit der Bohrfirma und Swisstopo  
 Festlegung der Bohrlochposition in der Nische unter Berücksichtigung eines optionalen 2. Bohrlochs  
 Festlegung der Sicherungsmaßnahmen und des Ausbaus der Nische und des Bohrlochs hinsichtlich Arbeitsschutz und zur Vermeidung von Ventilation (Porendruckabsenkung) in Abstimmung mit Swisstopo
- AP8: Fortsetzung der Planung der Instrumentierung mit TDR Kabelsensoren unter Einbeziehung der Verteilung aller Sensoren und der Dimensionierung des Sandwich-Verschlusses im In-situ-Experiment

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11587B</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Vorprojekt (SANDWICH-VP), Teilprojekt B	
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2017 bis 30.06.2019	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2017 bis 31.12.2017
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 710.450,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Wieczorek

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Neben dem Wirtsgestein kommt geotechnischen Barrieren wie Schacht- oder Streckenverschlüssen in Endlagern eine besondere Bedeutung zu.

Ein vielversprechendes Konzept ist das von KIT entwickelte Sandwich-System, bei dem das hydraulische Dichtelement aus Wechsellagen aus Bentonit zur Abdichtung und hydraulisch leitenden Potentialausgleichsschichten (Äquipotenzialsegmente – ES) besteht. Experimente im Technikumsmaßstab zum Nachweis der Funktion sind erfolgreich durchgeführt worden. Der nächste Schritt ist ein großmaßstäbliches Experiment unter Einbeziehung des Wirtsgesteins, bei dem unter Demonstration der Einbautechnik zu prüfen ist, ob die erwarteten Vorzüge des Sandwich-Systems zum Tragen kommen und die Dichtfunktion erreicht wird.

Das Sandwich-Vorprojekt ist ein Verbundprojekt von KIT und GRS mit Beteiligung internationaler Partner BGR, Swisstopo, ENRESA, NAGRA sowie enger Kooperation mit dem ENSI. Das Ziel des Sandwich-Vorprojekts besteht in der Planung eines solchen großmaßstäblichen In-situ-Experiments im Felslabor Mont Terri.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Definition der Erfordernisse an das Verschlussystem
- AP2: Festlegung der Ziele des Experiments
- AP3: Festlegung und Vorbereitung eines Versuchsortes
- AP4: Materialauswahl für Dichtsegmente (DS) und Äquipotenzialsegmente (ES)
- AP5: Auslegungsvarianten von Verschluss und Instrumentierung
- AP6: Auslegungsrechnungen für die Planung von Verschluss und Instrumentierung
- AP7: Festlegung der Bautechniken
- AP8: Festlegung der Instrumentierung
- AP9: Festlegung der Projektorganisation sowie Zeit- und Kostenplanung
- AP10: Berichterstattung
- AP11: Koordination

Die APs werden bis auf nachfolgend genannte APs gemeinsam federführend mit KIT bearbeitet. Das KIT ist federführend bei AP4 und AP11, die GRS bei AP3 und AP6.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Zusammenstellung von Ergebnissen von In-situ-Versuchen in Mont Terri. Außerdem wird eine Ergebniszusammenstellung zum Verhalten von Bentonit des EU-Projekts BEACON verfügbar gemacht.
- AP2: Die übergeordneten Ziele des geplanten In-situ-Experiments sind unverändert gültig. Detaillierte Ziele werden noch festgelegt.
- AP3: Als Versuchsort wurde eine Nische in der geplanten Erweiterung des Felslabors festgelegt. Die Planung umfasst ein Großbohrloch von bis zu 15 m Tiefe zur Aufnahme des Sandwich-Dichtsystems. Ein zweites Bohrloch für ergänzende Messungen wird in Betracht gezogen.
- AP6: Ein vorläufiges dreidimensionales Modell der Versuchsgeometrie mit homogen-isotropem Gebirge wurde erarbeitet. Erste hydraulische Auslegungsrechnungen zeigen einen teilent-sättigten Bereich um das offene Bohrloch von maximal etwa 0.5 m Ausdehnung, abhängig von der Bewetterung. Ein Abschluss der Versuchsnische von der Laborbewetterung wird daher diskutiert.
- AP8: Die Instrumentierungsplanung für das Versuchsbohrloch und das umgebende Gebirge hat begonnen. Ein erster Entwurf des Instrumentierungsplans wird im Februar diskutiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung der Datensammlung zu bestehenden Versuchen
- Festlegung der Dimension der Versuchsnische und des Bohrlochs in Abstimmung mit der Bohrfirma und Swisstopo
- Festlegung der Sicherungsmaßnahmen und des Ausbaus der Nische und des Bohrlochs hinsichtlich Arbeitsschutz und zur Vermeidung von Ventilation (Porendruckabsenkung) in Abstimmung mit Swisstopo
- Vorläufige Festlegung der Versuchsführung zur Definition eines Referenzfalls für die Simulation
- Erweiterung des Simulationsmodells um geologische Features
- HM-Simulation des Referenzfalls und von Varianten
- Entwicklung des Instrumentierungsplans

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolf-Römer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 11597</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase II: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel (STROEFUN-II)		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Feld 3.3		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2017 bis 30.06.2018	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 49.978,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Langefeld	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des bereits erfolgten Forschungsprojektes „Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches“ (FKZ: 02E11253) wurde ein Konzept für den gegenständlichen Nachweis der strömungstechnischen Dichtheit von Verschlussbauwerken aus kohäsiven Materialien entwickelt. Dies erfolgte in Kombination mit der Auswahl und rheologischen Charakterisierung von geeigneten Injektionsmaterialien für die Vergütung von getesteten Bauwerksbereichen im Rahmen der gegenständlichen Nachweisführung.

Folgende, noch nicht geklärte Punkte sollen in dieser Projektphase behandelt werden:

- Zeitpunkt der Ausbildung einer Zone erhöhten Permeabilität in Kontaktbereich nach Einbringung des Baustoffes  
Nach Errichtung des Streckenverschlussbauwerkes kommt es zeitabhängig zu einer Schädigung des Kontaktbereiches (KB) Dichtbaustoff/Gebirge und Ausbildung eines Bereichs erhöhter Permeabilität infolge der Schwindprozesse bzw. der Zwangsspannungen aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften der hydraulisch abbindenden Baustoffe. Zur wirksamen Nachvergütung des Kontaktbereiches muss die Injektionsmaßnahme nach der Ausbildung einer Zone erhöhter Permeabilität stattfinden, wodurch dem Zeitpunkt dieser Ausbildung eine entscheidende Bedeutung im Vergütungskonzept zukommt
- Porengrößenverteilung sowie Porositäts-/Permeabilitätsbeziehungen im Kontaktbereich  
Der Zusammenhang zwischen der strömungswirksamen (effektiven) Porosität, der Porengrößenverteilung und der Permeabilität wird als essentielle Grundlage für die Beurteilung der Strömungsbedingungen im Kontaktbereich und die Auswahl des Injektionsmittels im Rahmen des Vergütungskonzepts angesehen.
- zusätzliche, ausgewählte rheologische Eigenschaften der Injektionsmittel  
Im bisherigen Vorhaben wurde die dynamische Viskosität der Injektionsmittel bei einer einzelnen Scherrate gemessen. Eine Beurteilung des Einflusses der Scherspannung und der Zeit sowie Schlussfolgerungen für das resultierende rheologische Verhalten (u. a. struktur-viskoses Verhalten, Thixotropie) und der daraus resultierenden Folgen für das Injektionsverhalten sowie Kenntnisse zu verarbeitungsrelevanten Parametern (u. a. Topfzeit, Trichterauslaufzeit etc.) liegen noch nicht vor.

- Partikelgrößenverteilung in den partikelgestützten Injektionsmitteln

In Phase I wurde die Korngrößenverteilung der partikelgestützten Injektionsmittel im trockenen Zustand betrachtet. In Suspension kann es jedoch durch die Hydratation und Agglomeration zur Bildung von größeren Partikeln kommen, wodurch das Injektionsverhalten der Suspensionen beeinflusst wird. Entsprechende Parameter sind von Bedeutung für die Auswahl des Injektionsmittels und –regimes.

- Einfluss der Anrührtechnik/Upscaling

Der Einfluss der im Labor verwendeten Anrührtechnik (Scherraten, Energieeintrag beim Anrühren) auf die Rheologie und Partikelgrößenverteilung und die Folgen für das Upscaling auf die verwendete Technologie beim Untertage Einsatz.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Vertiefung Kenntnisstand des Kontaktbereiches

AP2: Vertiefung Kenntnisstand der Rheologie und des Qualitätsmanagements von Injektionsmittel und Dichtbaustoff

AP3: Berichtslegung-Dokumentation, Interpretation, Schlussfolgerung

## 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Während des Berichtszeitraums wurden die Begrifflichkeiten Kontaktbereich, Kontaktfuge, Porosität, Risse, mittels Literaturrecherche zur Verwendung in diesem Projekt, erörtert.

Auch wurde auf eine Permeabilitäts-Porositätsbeziehung von verschiedenen Gesteinen eingegangen, mit der Erkenntnis, dass eine Verallgemeinerung nicht möglich ist. Die Permeabilitäts-Porositätsbeziehungen sind von den unterschiedlichen Gesteinen und Materialien abhängig. Letztlich lassen sich diese Beziehungen nur durch einen großen Probenumfang für eine Lithologie bzw. ein Material ableiten, da diese Permeabilitäts-Porositäts-beziehungen keinerlei Aussagen darüber liefern, welche geometrischen Eigenschaften der Porenraum im Betrachtungsvolumen aufweist.

Auch wurde die Permeabilität in Abhängigkeit von der Rissbreite mittels mehreren Literaturquellen recherchiert, jedoch sind nicht nur die Randbedingungen unterschiedlich, sondern auch die Datensätze mit unterschiedlichen Regressionen betrachtet worden.

Für eine Erfassung des Porenraums und der Risse wurden verschiedene Verfahren vorgestellt. So wurde die Woodsmetallporosimetrie mit der der Hg-Porosemetrie verglichen mit dem Resultat, dass bei der Hg-Porosemetrie ein größerer Anteil an Poren als kleiner angenommen wird als bei der Woodsmetallporosimetrie.

Ein ausreichend genaues Abbild der Probe, in Form eines 3D-Modells kann mittels einer Computertomographie (CT) erzeugt werden, wobei es zu kleinen Variationen (0,9-24,0 µm) kommen kann. Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung des Porenvolumens gelingt mittels Kernspintomographie (Nuclear Magnetic Resonance). Zur besseren Detektierbarkeit werden bei dieser Methode Proben mit Wasser oder einem gut detektierbaren Gas gesättigt. Das Verfahren basiert darauf, dass Atomkerne in einem statischen Magnetfeld ein Magnetfeld mit entgegengesetzter Polarisierung erzeugen, liegt eine diffuse Magnetisierung im Porenraum vor, so ist dieses Verfahren fehleranfällig.

## 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fertigstellung der noch ausstehenden Tätigkeiten wird bis zu dem 30.06.2018 erfolgen.

## 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11607A</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2017 bis 30.09.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 656.550,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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**

Für die Untersuchung der Lösungseigenschaften von Spaltelement-Verbindungen sind kalorimetrische Messungen vorgesehen. Das hierfür notwendige Titrationskalorimeter wurde beschafft und im Labor der GRS installiert. Einige Modifikationen wurden vorgenommen, um zu verhindern, dass untersuchte Metallsalzlösungen in Kontakt mit korrodierbaren Metallteilen kommen.

Inzwischen wurden erste Messungen der Verdünnungsenthalpie von Cäsiumchlorid-Lösungen bei 25 °C durchgeführt. Weitere Messungen sind bei höheren Temperaturen vorgesehen. Untersucht werden sollen auch Magnesiumiodid und Kaliumselenit. Beide Verbindungen wurden in Form konzentrierter Lösungen synthetisiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Messung der Verdünnungsenthalpie von Magnesiumiodid- und Kaliumselenitlösungen bei 25 °C und höheren Temperaturen.

Ansetzen der Batchversuche zur Rückhaltung von Selenit und Selenat durch Fe-II-Korrosionsphasen sowie die Vorbereitung der Versuche mit metallischem Eisen.

Beginn der isopiastischen Messungen für ternäre Lösungen mit Cäsiumchlorid bei Temperaturen > 25 °C.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11607B</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld: 4.1		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2017 bis 31.08.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 515.767,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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  $^{14}\text{C}$ ,  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{99}\text{Tc}$  in Langzeitsicherheitsnachweisen angenommen werden, abzubauen. Ziel des Teilvorhabens des HZDR ist die Identifikation von Rückhalteprozessen für das Spaltprodukt  $^{99}\text{Tc}$  und im geringeren Umfang für  $^{79}\text{Se}$ . 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 RES<sup>3</sup>T eingebunden. Ein weiteres Ziel stellt die Untersuchung und Charakterisierung der relevanten niederen Oxidationsstufen des  $^{99}\text{Tc}$  dar.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Sorptionsprozesse

AP1.1: Sorption von Selen (0 und -II) an verschiedenen Eisen-Korrosionsphasen und Modelmineraloxiden

AP1.2: Sorption und Einbau von Tc an verschiedenen Eisen-Korrosionsphasen

AP1.3: Auswirkung der Variabilität von Eisen-Korrosionsphasen auf den Rückhalt von Selen und Technetium

AP2: Tc-Chemie inklusive niedriger Oxidationsstufen

AP3: Datentransfer zur Langzeitsicherheitsanalyse

AP4: Erstellung Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

- Umfangreiche Literaturrecherche zu Tc-Retentionsprozessen ist dokumentiert
- Bereitstellung des notwendigen instrumentellen Versuchsaufbaus für Tc-Retentionsuntersuchungen in N<sub>2</sub>-Inertgasbox
- Erste Voruntersuchungen und positive Befunde zur Reduktion von Tc(VII) zu Tc(IV) an nanopartikulärem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Anwesenheit von Fe(II)
- Vorbereitung der Publikation von früheren Daten zur Se(IV) Sorption an nanopartikulärem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

AP2:

- Umfangreiche Literaturrecherche zur Tc-Chemie der niederen Oxidationsstufen ist dokumentiert

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Vertiefende Untersuchungen zur Reduktion von Tc(VII) zu Tc(IV) an nanopartikulärem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Anwesenheit von Fe<sup>2+</sup> und S<sup>2-</sup>: Einfluss des pH, der Ionenstärke, der Reaktionszeit
- Synthese von Pyrit und weiteren Mineraloxidphasen
- Voruntersuchungen zur Reduktion von Tc(VII) zu Tc(IV) an Pyrit in Abhängigkeit des pH, der Ionenstärke, der Reaktionszeit

AP2:

- Bereitstellung des notwendigen instrumentellen Versuchsaufbaus
- Voruntersuchungen zur Synthese von Tc(I)-Komplexen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11607C</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2017 bis 31.08.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 504.649,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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  $^{129}\text{I}$  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  $^{129}\text{I}$  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) Literaturrecherche zu Tc-Nitrat- und Tc(IV)-Sulfat-Systemen. (ii) Löslichkeitsexperimente mit Tc(IV) bei Anwesenheit von Nitrat in unterschiedlichen chemischen Redoxsystemen. Bewertung von kinetischen Effekten und Festphasencharakterisierung. (iii) Planung der Tc(IV)-Löslichkeitsexperimente in verdünnten bis konzentrierten NaCl-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Lösungen. (iv) Es konnte kein geeignete/r Bewerber/in auf die Doktorandenstelle gefunden werden.
- AP2: Langzeitexperimente zur Aragonit-Calcit Rekristallisation in Gegenwart von Se(IV) wurden angesetzt und werden regelmäßig beprobt.
- AP3: Die Arbeiten zur Rückhaltung von Iod durch Fe-Sekundärphasen werden im Wesentlichen im Rahmen einer Doktorarbeit durchgeführt. Die Doktorandenstelle wurde ausgeschrieben und ein geeigneter Kandidat gefunden.
- AP4: (i) Bestellung und Lieferung von Autoklav- und Verbrauchsmaterialien für Inventarbestimmung und Auslaugexperimente. (ii) Probenvorbereitung für Inventarbestimmung und für ein Auslaugexperiment zur Bestimmung der instantan freigesetzten Menge (IRF) von <sup>129</sup>I. (iii) KORIGEN-Rechnungen zu <sup>129</sup>I Inventar in bestrahltem Kernbrennstoff.
- AP5 und AP6: Es wurden keine Arbeiten im Berichtszeitraum durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im kommenden Berichtszeitraum sollen von KIT-INE in VESPA II folgende Arbeiten durchgeführt werden.

- AP1: (i) Durchführung von Tc(IV)-Löslichkeitsexperimenten in verdünnten bis konzentrierten NaCl-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Lösungen. (ii) Durchführung entsprechender Experimente im MgCl<sub>2</sub>-System. Das CaCl<sub>2</sub>-System wird anhand ausgewählter Stichproben analysiert. (iii) In beiden o. g. Experimentserien werden detaillierte Analysen der wässrigen und festen Tc(IV)-Speziation durchgeführt. (iv) Manuskript zu "Impact of nitrate on the redox chemistry of Tc". (v) Weitere Arbeiten werden im Rahmen der geplanten Doktorarbeit durchgeführt. Die Stelle soll im Januar 2018 von KIT ausgeschrieben werden.
- AP2: Vorbereitung/Auswertung der Synchrotronexperimente. Monitoring der Rekristallisationsexperimente.
- AP3: Der Start der Doktorarbeit zum Iod-Einbau ist geplant zum 1. April 2018. (i) Literaturstudie zur Rückhaltung von I an/in Fe-Sekundärphasen. (ii) Beginn der Synthese und Charakterisierung von Fe-Sekundärphasen.
- AP4: (i) Aufschluss von bestrahltem Kernbrennstoff zur experimentellen <sup>129</sup>I Inventarbestimmung und Vergleich mit KORIGEN-Rechnungen. (ii) Start des Auslaugexperimentes mit bestrahltem Kernbrennstoff unter endlagerrelevanten Bedingungen zur Bestimmung der <sup>129</sup>I Freisetzung (IRF).
- AP5 und AP6: Es sind keine Arbeiten im kommenden Berichtszeitraum geplant.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 11607D</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt D		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 4: Sicherheitsnachweis, Feld 4.1		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>  01.09.2017 bis 31.08.2020	<b>Berichtszeitraum:</b>  01.09.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b>  265.296,00 EUR	<b>Projektleiter:</b>  Dr. Brandt	

### 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  $^{129}\text{I}$  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  $^{129}\text{I}$  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  $^{129}\text{I}$  in abgebrannten Brennelementen und damit der maximal aus dem Abfall freisetzbaren  $^{129}\text{I}$ -Stoffmenge ermittelt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP1:  $^{129}\text{I}$ -Iod-Inventar in bestrahltem Kernbrennstoff: Dieses AP beinhaltet eine Auswertung von Literaturdaten, die dann zur Abschätzung der  $^{129}\text{I}$ -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-precipitation 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

- AP1: Das Projekt wurde pünktlich zum 01.09.2017 gestartet. Die Literaturstudie zum  $^{129}\text{I}$ -Inventar und zur Iod-Geochemie in natürlichen Gewässern wurde plangemäß durchgeführt und in Berichtform zusammengefasst. Der Informationsaustausch mit KIT-INE zur Iod-Freisetzung wird im späteren Projektverlauf stattfinden, wenn die neuen Daten von KIT-INE vorliegen.
- AP2: In Vorbereitung der Experimente zur Rückhaltung von  $^{129}\text{I}$ iodid (Spurenbereich) durch Anionenaustausch wurden erste LDH der Mischkristallreihe von (Mg,Ni)Al-LDH mit Chlorid als Zwischenschichtanion mittels Kopräzipitation synthetisiert, basierend auf den Erfahrungen in VESPA. Die experimentellen Details von AP2 bis AP4 wurden festgelegt und bei dem Projekttreffen in Braunschweig auch die Zusammenarbeit mit KIT-INE (EXAFS-Messungen) und HZDR (Bereitstellung/Herstellung von LDH-Proben) besprochen.
- AP3: Zum Einbau von Iodid durch Kopräzipitation wurden erste LDH-Proben hergestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im 1. Halbjahr 2018 werden wie geplant Experimente zur Rückhaltung von  $^{129}\text{I}$ iodid durch Anionenaustausch (AP2) und der Einbau von Iodid (AP3) durchgeführt. Zusätzlich werden die Experimente zur Rückhaltung von Iodid durch kalzinierte LDH-Phasen vorbereitet, indem entsprechende LDH-Proben synthetisiert und charakterisiert werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 11617A</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRIS-TA II), Teilprojekt A		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 3: Endlagerkonzepte + Endlagertechnik, Felder 3.1 + 3.2		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2017 bis 31.08.2020	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 698.375,69 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

















<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 W 6263</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden		
<b>Zuordnung zum FuE-Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle</b> Bereich 6: Kernmaterialüberwachung		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2013 bis 30.09.2017	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2017 bis 31.12.2017	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 950.632,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Niemeyer	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Aufgabe des Vorhabens besteht darin, die Bundesregierung (vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) in Fragen der internationalen Kernmaterialüberwachung zu beraten und bei der Weiterentwicklung der Kontrollen zu unterstützen. Im Einzelnen zielte das Vorhaben ab auf Lösungsvorschläge zur weiteren Implementierung des Zusatzprotokolls, Einführung der sog. integrierten Sicherungsmaßnahmen (Integrated Safeguards), Weiterentwicklung des sog. Staatskontrollansatzes (State-level Approach), Entwicklung von anlagen- und brennstoffkreislaufspezifischen Kontrollmethoden sowie Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden unter dem Aspekt der Proliferationsresistenz. Die Arbeiten dienen der Bereitstellung von Arbeitspapieren, Techniken und Veröffentlichungen und der Entwicklung von Auswertemethoden mit dem Ziel der Übernahme der Ergebnisse durch BMWi, Euratom-Kontrollbehörde und Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO).

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind:

- Weiterentwicklung von Safeguardstechnologien (Digitale Überwachungssysteme und Datenfernübertragung, analytische Messmethoden, Satellitenfernerkundung und Geoinformationstechnologien)
- Neuentwicklung von Safeguardstechnologien (Technologische Zukunftsforschung, Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung, geophysikalische Messverfahren, Lasertechniken)
- Safeguards-by-Design
- Safeguards für Nuklearanlagen (Entsorgung abgebrannter Brennelemente, Zentrifugenanreicherungsanlagen)
- Weiterentwicklung des staatspezifischen Kontrollansatzes
- Kooperation mit der DGAP zur technisch-politischen Schnittstelle der internationalen Safeguards
- Pflege des nationalen Safeguards-Internet-Portals
- Entwicklung eines Qualitätsmanagements für das EURATOM-Safeguardssystem
- Weiterentwicklung von Safeguards-Überlegungen im Rahmen von „3S“ (Sicherheit, Sicherung, Safeguards)
- Mitarbeit in der European Safeguards R&D Association (ESARDA)
- Weitere Aktivitäten (INMM, SAGSI)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Weiterentwicklung von Safeguardstechnologien:
  - a) Einschluss und Überwachung: Anforderungen in der Entsorgung von Brennelementen im Rahmen der integrierten Sicherungsmaßnahmen;
  - b) Datenfernübertragung (DFÜ): Unterstützung bei der Durchführung eines DFÜ-Feldtests in zwei Leistungsreaktoren;
  - c) Safeguardsanalytik: Promotionsprojekt zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Qualifizierung Jülichs für das Netzwerk der IAEO-Analyselaboratorien (NWAL);

- d) Satellitenfernerkundung: Projekt zum Einsatz von Fernerkundung seitens der IAEO;
- e) Geoinformationstechnologien: Entwicklung eines webbasierten Systems zur Übermittlung digitaler Anlagenpläne;
- f) Inspektionsplanung und -bewertung: Projekt zur Verbesserung der Kernmaterialüberwachung unter Einbezug neuer Methoden aus Statistik und Spieltheorie.
- Safeguards für Nuklearanlagen:
  - a) Geologische Endlagerung: Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte und Auswirkungen der Rückholungs- und Bergungsoption auf Safeguardsmaßnahmen in verschiedenen Wirtsgesteinen; Mitarbeit in der Expertengruppe ASTOR; Konzeptstudie 3S (Safety-Security-Safeguards) bezgl. Entsorgung;
  - b) Zusatzprotokoll und Implementierung von Integrated Safeguards (IS): Unterstützung und Beratung von Betreibern, Unterstützung des BMWi bei Anfragen von IAEO und Euratom;
  - c) IAEO-Inspektionsberichte: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Auskünfte zu Anfragen des BMWi.
- Unterstützung des staatspezifischen Kontrollkonzeptes (SLC): Akquisitionspfadanalyse (APA)
- Kooperation mit der DGAP: Expertensitzung bei der DGAP am 23.05.2017 zum Thema „International Security and the Future of Nuclear Weapons“
- Pflege des nationalen Safeguards-Internetportals „safeguards.de“
- ESARDA: Präsidentschaft, Leitung Steering Committee, Leitung Executive Board, Leitung Reflection Group, Mitarbeit in vier AGs.
- Weitere Aktivitäten:
  - a) SMÜ/AKÜ-Safeguardskreis und VGB-Arbeitskreis: Mitarbeit;
  - b) INMM: Mitarbeit International Safeguards Division; JNMM Associated Editors;
  - c) SAGSI: Mitarbeit.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Einschluss und Überwachung: Anforderungen in der Entsorgung von Brennelementen.
- Datenfernübertragung: Unterstützung bei der Implementierung der DFÜ in Reaktoren.
- Safeguardsanalytik: Abschluss des Promotionsprojekts zur Synthese von Kalibrierstandards und Referenzmaterialien; Fortsetzung der NWAL-Qualifizierung Jülichs.
- Satellitenfernerkundung: Machbarkeitsstudie bezgl. satellitengestützter Videodaten.
- Geoinformationstechnologien: Weiterentwicklung zur Übermittlung GIS-fähiger Anlagenpläne.
- Inspektionsplanung und -bewertung: Wissenschaftliche Beiträge, Training bei der IAEO.
- Safeguards-Konzepte: Weiterentwicklung von SLC, APA, Safeguards-by-design (SBD) und 3S.
- Endlagerung: Fortsetzung der Grundlagenermittlung zur Fortschreibung der Safeguardskonzepte.
- Unterstützung des BMWi bei Umsetzung des Zusatzprotokolls und Bewertung von IS und SLC.
- IAEO-Inspektionsberichte: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung; Beratung des BMWi.
- Safeguards-Webportal: Betreuung des Webportals „safeguards.de“.
- Fortführung laufender Arbeiten in den ESARDA- bzw. INMM-Gremien und –Arbeitsgruppen.
- Mitarbeit in den nationalen Gremien AKÜ/WKK und VGB-Arbeitskreis, SAGSI-Mitarbeit.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Aymanns, K., Niemeyer, I., Reznicek, A., Jussofie, A.: Sealing Systems in German Spent Fuel Storage Facilities. ESARDA Bulletin 55, 2017 (in print)
- Krieger, T., Burr, T., Norman, C.: Consequences of non-zero item variability on the IAEA's inspection sampling plans. Proc. INMM Annual Meeting 2017
- Bonner, E., Burr, T., Krieger, T.; Martin, K., Norman, C.: Comprehensive Uncertainty Quantification in Nuclear Safeguards. Science and Technology of Nuclear Installations 2017, ID 2679243 (doi: 10.1155/2017/2679243)
- Rutkowski, J., Warner, T., Niemeyer, I.: A Semi-automated Change Detection Model for Nuclear Fuel Cycle Related Activities Using Large Remote Sensing Time Series Datasets and Geographic Information Systems. Proc. INMM Annual Meeting 2017



## **Information zu Publikationen sowie zu Aus- und Weiterbildung**

In den Halbjahresberichten werden in kurzgefasster Form die Ergebnisse der laufenden Forschungsvorhaben dargestellt. Vorhabenrelevante Publikationen werden, soweit es der Platz zulässt, zwar aufgelistet, es ist aber nicht immer möglich alle Veröffentlichungen (schriftlich oder mündlich) aufzunehmen. Ferner waren bisher Informationen zu Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen nicht explizit aufgenommen worden.

Es wurde daher vereinbart, zukünftig die Gesamtzahl der Publikationen zu nennen und Informationen zu Ausbildungsaspekten zu geben. Zahlen wurden von den Vorhabennehmern zur Verfügung gestellt und das Jahr 2015 als Referenz ausgewählt.

Diese zusammenfassende Darstellung wird im jährlichen Rhythmus erfolgen, d. h. sie wird jeweils im zweiten Halbjahresbericht erscheinen. Damit soll - zusätzlich zur Kurzdarstellung der Vorhabenergebnisse - dokumentiert werden, dass und wie die Ergebnisse verbreitet, bekanntgemacht und publiziert werden. Basierend auf den Rückmeldungen wurde die folgende Zusammenstellung vorgenommen.

### **Publikationen**

Im Jahr 2017 wurden rund 260 Veröffentlichungen in begutachteten Journalen, in Form von Schlussberichten, Doktor-, Master-, Bachelor- und Studienarbeiten gemacht. Davon sind ca. 45 % Universitäten, ca. 24 % Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft und ca. 31 % sonstigen Forschungseinrichtungen und Firmen zuzuordnen.

Im Jahr 2017 wurden auf Konferenzen, bei Workshops und sonstigen Veranstaltungen mehr als 220 Vorträge gehalten und Ergebnisse präsentiert. Davon entfielen ca. 46 % auf Universitäten, ca. 20 % auf Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft und ca. 34 % auf Forschungseinrichtungen und Firmen.

### **Aus- und Weiterbildung**

Ein strategisches Forschungsziel der BMWi-Förderung ist die Bereitstellung von Expertise und Wissen, der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und als wichtiges Element dabei die Unterstützung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die Aus- und Weiterbildung von Post-Docs, Doktoranden, Masterstudenten erfolgt nahezu ausschließlich durch Universitäten und Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft. Gleichwohl erfolgt in einzelnen Fällen die Ausbildung von Studenten im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation zwischen Universitäten und Firmen.

Im Jahr 2017 waren 80 Nachwuchswissenschaftler in FuE-Vorhaben eingebunden.





### 3 Verzeichnis der Forschungsstellen

<b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover</b>		
02 E 11395	Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschiechten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA)	78
<b>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), 12200 Berlin</b>		
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	142
1501509	Langzeitverhalten von Metall- und Elastomerdichtungen sowie Polyethylen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (LaMEP)	18
<b>DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine</b>		
02 E 11193B	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen	44
02 E 11294	Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen (ERNESTA)	50
02 E 11385	Entwicklung von Monitoring-Konzepten in Anlehnung an Sicherheits- und Nachweiskonzepte sowie Ableitung von Entscheidungsgrößen und Reaktionsoptionen (MONTANARA)	76
02 E 11405A	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschiechten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt A	80
02 E 11486B	Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt B	128
02 E 11516	Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland (KONEKD)	134
02 E 11526B	Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt B	138
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	140

02 E 11577A Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlager-  
systemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt A 📖 156

02 E 11617A Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskon-  
zeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle  
im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt A 📖 174

**Dr. Andreas Hampel, Grünberger Str. 56, 55129 Mainz**

02 E 11446A Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgs-  
mechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz  
(WEIMOS), Teilprojekt A 📖 106

**Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Domstr. 11, 17489 Greifswald**

02 E 11344C Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrie-  
ren; Teilproject C 📖 68

**Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich**

02 E 11607D Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungspro-  
dukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und  
Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt D 📖 172

02 W 6263 Neu- und Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden 📖 182

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

02 E 11547C Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-  
technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Ab-  
fälle (SOTEC-radio), Teilprojekt C 📖 148

**Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Schwertnergasse 1, 50667 Köln**

02 E 11072A Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-K<sub>d</sub>-  
Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen – Teilprojekt GRS 📖 38

02 E 11102 Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit  
von Endlagern 📖 40

02 E 11243 Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborati-  
ve und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Re-  
kompaktionsverhalten der EDZ(LASA-EDZ) 📖 46

02 E 11284 Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-  
Nahfeld (BIGBEN) 📖 48

02 E 11304 Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri 📖 52

02 E 11314 Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhal-  
tiger Korrosionsphasen (KORPHA) 📖 54

02 E 11324 Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose  
des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2) 📖 56

02 E 11334A Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experi-  
menteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger  
salinärer Lösungen; Teilprojekt A 📖 58

<b>02 E 11344A</b>	Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt A	64
<b>02 E 11365</b>	Lösungsverhalten von Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (LÖVE)	74
<b>02 E 11405B</b>	Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt B	82
<b>02 E 11456B</b>	Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionuklidern in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- e <sup>2</sup> ), Teilprojekt B	118
<b>02 E 11466</b>	Entwicklung von Rechenmodulen für die integrierte Modellierung von Transportprozessen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (RepoTREND+)	120
<b>02 E 11476A</b>	Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt A	122
<b>02 E 11486A</b>	Verbundprojekt: Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit (BASEL), Teilprojekt A	126
<b>02 E 11496A</b>	Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt A	130
<b>02 E 11567B</b>	Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH <sup>2</sup> M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt B	154
<b>02 E 11577B</b>	Verbundprojekt: Sicherheitsanalytische Untersuchungen zu Endlagersystemen im Kristallin (SUSE), Teilprojekt B	158
<b>02 E 11587B</b>	Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Vorprojekt (SANDWICH-VP), Teilprojekt B	162
<b>02 E 11607A</b>	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt A	166
<b>02 E 11617B</b>	Verbundprojekt: Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II), Teilprojekt B	176
<b>02 E 11627</b>	Arteigene Versatz- und Verschlussmaterialien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tonformationen (AVET)	178
<b>RS1552</b>	Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung	30
<b>RS1553A</b>	Verbundvorhaben: Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer – Teilprojekt: Methodik zur probabilistischen Bewertung („ProbBau“)	32

**Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 400 (B6), 01328 Dresden**

- 02 E 11334B Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt B 📖 60
- 02 E 11344B Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren; Teilprojekt B 📖 66
- 02 E 11415B Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt B 📖 88
- 02 E 11607B Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt B 📖 168

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

- 1501518B Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Akustische Messverfahren 📖 24

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

- 02 E 11405C Verbundprojekt: Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschieben in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (KOSINA), Teilprojekt C 📖 84
- 02 E 11446B Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt B 📖 108

**Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz**

- 02 E 11415A Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt A 📖 86

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

- 02 E 11476B Verbundprojekt: Grundwasserströmung und Stofftransport in komplexen realen Systemen (GRUSS), Teilprojekt B 📖 124

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

- 02 E 11355 Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (Expander) 📖 72
- 02 E 11587A Verbundprojekt: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip - Vorprojekt (SANDWICH-VP), Teilprojekt A 📖 160

<b>Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover</b>
---

- |             |   |       |
|-------------|---|-------|
| 02 E 11446C | Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt C  | 📖 110 |
| 1501560     | Modellierung und Untersuchung der Degradation von Hüllrohrmaterialien aus Zr-Legierungen durch Hydridbildungs- und Hydridverteilungsprozesse im Hinblick auf die Langzeitzwischenlagerung (KEK) | 📖 34  |

<b>Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e. V., Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg</b>
--

- |             |  |       |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11547A | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt A | 📖 144 |
|-------------|--|-------|

<b>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Seminarstr. 2, 69117 Heidelberg</b>
---

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

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

- |             |  |       |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11334C | Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen; Teilprojekt C                                | 📖 62  |
| 02 E 11415C | Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt C   | 📖 90  |
| 02 E 11547B | Verbundprojekt: Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit sozio-technischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio), Teilprojekt B                               | 📖 146 |
| 02 E 11456A | Verbundprojekt: Integrität der Bentonitbarriere zur Rückhaltung von Radionukliden in kristallinen Wirtsgesteinen - Experimente und Modellierung (KOLLORADO- $e^2$ ), Teilprojekt A           | 📖 116 |
| 02 E 11496B | Verbundprojekt: Korrosions- und Sorptionsprozesse an Stahloberflächen bei hohen Temperaturen und Drücken im anaeroben salinaren Milieu (KORSO), Teilprojekt B                                | 📖 132 |
| 02 E 11607C | Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld von Endlagern unterschiedlicher Wirtsgesteine und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA II), Teilprojekt C | 📖 170 |

<b>Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg</b>
---

- |             |  |       |
|-------------|--|-------|
| 02 E 11193A | Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen             | 📖 42  |
| 02 E 11435  | MgO-Spritzbeton: Verhalten bei Angriff von $MgCl_2$ -Lösung (MgO-SEAL)   | 📖 104 |
| 02 E 11526A | Verbundprojekt: Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in Tiefen Bohrlöchern (CREATIEF), Teilprojekt A | 📖 136 |

02 E 11557 Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (GESAV II) 📖 150

**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 📖 112

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

02 E 11425 Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken – Bautechnische Realisierung Technikumsprüfstand mit Durchführung und Auswertung erster Versuche (Salzschnittblöcke) 📖 102

02 E 11446E Verbundprojekt: Weiterentwicklung und Qualifizierung der gebirgsmechanischen Modellierung für die HAW-Endlagerung im Steinsalz (WEIMOS), Teilprojekt E 📖 114

02 E 11567A Verbundprojekt: Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH<sup>2</sup>M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen (BenVaSim), Teilprojekt A 📖 152

02 E 11597 Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches - Phase II: Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel (STROEFUN-II) 📖 164

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

02 E 11415G Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt G 📖 98

1501510 Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe (StrukElast) 📖 20



1501518A Verbundvorhaben: Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung – Teilvorhaben: Analysen zu strahlungs-basierten und thermographischen Messverfahren 📖 22

**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 📖 26

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 📖 28


**Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München**

- 02 E 11344D Verbundprojekt UMB: Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren, Teilprojekt D  70
- 02 E 11415E Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt E  94

**Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken**

- 02 E 11415D Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt D  92

**Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam**

- 02 E 11415F Verbundprojekt: Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen (GRaZ), Teilprojekt F  96